

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

«На правах рукопису»
УДК 620.91

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
В.І.Дешко
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

спеціалізація «Енергетичний менеджмент та інжиніринг»

на тему: «Особливості роботи системи регулювання індивідуальної системи опалення»

Виконала: студентка VI курсу, групи ОТ – 71мн
(шифр групи)

Терезюк Антоніна Миколаївна
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант старший викладач, к.т.н., Оборонов Т.Ю.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н., професор Дешко В.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Нормоконтроль доцент, к.т.н., доцент Шкляр В.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра Теплотехніки та енергозбереження
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та інжиніринг»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.І. Дешко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Терезюк Антоніні Миколаївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Особливості роботи системи регулювання індивідуальної системи опалення» _____,

науковий керівник дисертації Дешко Валерій Іванович, д.т.н, професор _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «19» 03 2019 р. № 926-с

2. Строк подання студентом дисертації 14 травня 2019р.

3. Об'єкт дослідження Однокімнатна квартира в місті Київ

4. Предмет дослідження Розподіл температури повітря в приміщенні

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) визначити енергетичну потребу на опалення об'єкта дослідження; 2) провести порівняльний аналіз розрахункової витрати природного газу і фактичної витрати; 3) провести дослідження зміни температури в приміщенні в системі з контролером та без регулювання; 4) розробити модель об'єкту дослідження в програмному середовищі SOLIDWORKS; 5) розробити та дослідити математичну модель системи регулювання температури в приміщенні з використанням різних видів регуляторів регуляторів.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: 1 презентація та результати моделювання в програмному забезпеченні «MatLab» та «SolidWorks».

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1. Опублікувати тези доповіді «Доцільність регулювання індивідуальної системи опалення» на IX міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем».

2. Опублікувати тези доповіді «Визначення доцільності встановлення контролера в системі з опалення індивідуальних житлових приміщень» на III міжнародній науково технічній конференції «Актуальні проблеми відновлювальної енергетики, будівництва та екологічної інженерії» 7- 9 лютого 2019, Кельце, Польща.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Оборонов Т.Ю.	11.04.2019	23.04.2019

9. Дата видачі завдання 11.03.2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Пошук матеріалу на прикладі найкращих практик	11.03.2019 - 13.05.2019	
2	Визначення енергопотреб на опалення однокімнатної квартири	11.03.2019-18.03.2019	
3	Проведення порівняльного аналізу розрахункової витрати природного газу	19.03.2019-25.03.2019	
4	Проведення дослідження зміни температури в приміщенні	26.03.2019-03.04.2019	
5	Розроблення моделі об'єкту дослідження в програмному середовищі SolidWorks	04.04.2019-10.04.2019	
6	Розроблення та дослідження математичної моделі системи регулювання температури в приміщенні	11.04.2019-23.04.2019	
7	Техніко-економічна оцінка проекту	24.04.2019-06.05.2019	
8	Нормативне оформлення магістерської дисертації	06.05.2019-13.05.2019	

Студент

_____ А.М. Терезюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ В.І. Дешко
(підпис) (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація «Особливості роботи системи регулювання індивідуальної системи опалення» має 85 сторінок, включає у себе 53 рисунків, 8 таблиць, містить 26 джерел в переліку посилань, а також 1 презентацію.

В даній роботі розглядається питання регулювання температури в приміщенні. У зв'язку з підвищенням тарифів на енергоресурси, в опалювальний період постає питання, як досягати комфортних умов в приміщенні та зменшити витрату енергоресурсів.

Дана магістерська дисертація пов'язана з аналізом існуючих систем регулювання повітря в приміщеннях з системами індивідуального поквартирного опалення.

Метою роботи є огляд та аналіз існуючих систем регулювання індивідуальної системи опалення. Дослідити ефективність встановленої системи регулювання на реальному об'єкті.

Об'єкт дослідження - однокімнатна квартира в місті Київ.

Предметом дослідження є розподіл температури в приміщенні та споживання природного газу.

Наукова новизна полягає в тому, що методом математичного та комп'ютерного моделювання було визначено доцільність використання пропорційно-інтегрального регулятора для найбільш ефективної роботи індивідуальної поквартирної системи опалення, а також доведено правильність розрахунку енергопотреби на опалення квартири

За результатами роботи опубліковані:

1. Опубліковані тези доповіді «Аналіз системи опалення з контролером роботи двоконтурного газового котла та без нього» на XVI міжнародній науково-практичній конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра.».

2. Оpubліковані тези доповіді «Визначення доцільності встановлення контролера в системі з опалення індивідуальних житлових приміщень» на III міжнародній науково технічній конференції «Актуальні проблеми відновлювальної енергетики, будівництва та екологічної інженерії» 7-9 лютого 2019, Кельце, Польща.

Ключові слова: індивідуальна поквартирна система опалення, енергетична потреба на опалення, пропорційні, пропорційно-інтегральні, пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори, моделювання процесів конвективного нагрівання повітря в приміщенні, SolidWorks, математичне моделювання, MatLab.

ABSTRACT

This master's dissertation "Features of the regulation of the individual heating system" has 85 pages, includes 53 figures, 8 tables, contains 26 sources in the list of links, 1 presentation.

In this paper we consider the question of temperature control in the room. In connection with the increase in tariffs for energy resources, during the heating period, the question arises how to achieve comfortable conditions in the room and reduce energy consumption.

This master's thesis related to the analysis of the existing systems of air regulation in the rooms with individual apartment heating systems.

The purpose of the work is to review and analyze the existing control systems of an individual heating system. Investigate the effectiveness of the established regulatory system at a real facility.

The object of the study is a one-room apartment in the city of Kiev.

The subject of research is the distribution of temperature in the room and the consumption of natural gas.

The scientific novelty lies in the fact that the method of mathematical and computer modeling determined the expediency of using a proportional-integral controller for the most efficient operation of apartment heating systems, and also proved the correctness of the calculation of the energy demand for apartment heating

According to the results of work published:

1. Published abstracts of the report "The feasibility of regulating an individual heating system" at the IX International Scientific and Practical Conference "Ensuring the quality of technological processes and systems."

2. Publishing theses of the report "Determining the feasibility of installing a controller in a system with heating of individual residential premises" at the III international scientific and technical conference "Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering" February 7-9, 2019, Kielce, Poland.

Key words: individual apartment heating system, energy demand for heating, proportional, proportional-integral, proportional-integral-differential regulators, modeling of processes of convective heating of indoor air, SolidWorks, mathematic model, MatLab.

ЗМІСТ

1	ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД РОБІТ	14
1.1	Сучасні системи водяного опалення.....	14
1.2	Системи автоматичного регулювання	17
1.2.1	Узагальнена структура САР.....	19
1.2.2	Автоматичні регулятори	22
1.3	Індивідуальна система опалення та її регулювання.....	25
1.3.1	Індивідуальна система опалення.	25
1.3.2	Регулювання індивідуальної системи опалення.	26
1.3.3	Погодне регулювання	27
1.3.4	Регулювання за допомогою термостатичного клапана.....	29
1.3.5	Регулювання за допомогою контролера	31
	Висновки до розділу	32
2	ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	34
2.1	Опис об'єкту дослідження	34
2.2	Розрахунок енергопотреби на опалення об'єкту.	36
2.3	Визначення витрати природного газу на потребу опалення об'єкту та порівняння з фактичним споживанням.....	40
2.4	Дослідження зміни внутрішньої температури приміщень в системі опалення з регулюванням та без нього	44
	Висновки до розділу	49
3	МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РОЗПОДІЛУ В ПРИМІЩЕННІ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS	50
3.1	Постановка задачі та опис моделі дослідження.	50
3.2	Геометричне моделювання моделі та задання граничних умов.	51
3.3	Результати моделювання.....	55
	Висновки до розділу	65
4	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННІ З П-, ПІ-, ПІД-РЕГУЛЯТОРАМИ	66

4.1 Опис систем регулювання	66
4.2 Постановка задачі моделювання	70
4.3 Результати моделювання	72
Висновки до розділу	77
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	78
5.1 Порівняльний аналіз споживання природного газу в системі опалення з контролером та без нього.	78
5.2 Розрахунок терміну окупності системи регулювання температури в приміщенні в системі з контролером.	81
Висновки до розділу.	81
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	83

ВСТУП

Сьогодні в Україні існує тенденція нової забудови в приміських районах. При створенні сучасних багатоповерхових житлових будинків розроблені системи опалення повинні забезпечити тепловий комфорт та теплові умови в приміщенні. Сучасна система опалення має відповідати інтер'єру приміщення, бути зручною в експлуатації та простою для користувача. Така система опалення дозволяє в автоматичному режимі перерозподіляти теплові потоки між приміщеннями будинку, максимально використовувати будь-які вхідні в опалювальне приміщення регулярні та нерегулярні, внутрішні та зовнішні теплонадходження, повинна бути програмована на будь-які теплові режими експлуатації приміщення та будинку.

Зазвичай приміські райони не мають доступу до централізованого опалення, тому забудовники вирішують дане питання за допомогою поквартирного індивідуального опалення. На сьогоднішній день, такий тип опалення для споживачів є вигідним та привабливим, як і в аспекті комфорту так і фінансовому питанні. Адже користувач сам вирішує коли включати опалення та і тарифи на електричну енергію та природній газ значно нижчі ніж на теплову енергію. Проте, при розробленні системи опалення, більшість забудовників за для економії відмовляються від встановлення систем регулювання системи опалення. Тому користувач замість комфортної оселі в період опалення зустрічається з проблемами теплового комфорту, а саме «переопалення» або «недоопалення». Також приваблива економія, не така і насправді реальна, для підтримання комфортних умов в приміщенні необхідно щоб котел постійно працював, що збільшує витрату енергоресурсів.

Тому регулювання системи опалення є важливим аспектом.

Актуальність роботи

Енергозбереження та енергоефективність сьогодні є найголовнішими питаннями. Адже, попит на енергію з кожним днем зростає, а енергоресурсів стає дедалі менше.

Загалом енергоефективність будівель має на меті досягнення комфортних умов з використанням меншої кількості енергії. Дані розглянуті системи регулювання системи опалення дозволяють досягати комфортних умов з мінімальним споживанням енергоресурсів.

Мета і завдання дослідження.

Огляд та аналіз існуючих систем регулювання індивідуальної системи опалення. Дослідити ефективність встановленої системи регулювання на реальному об'єкті.

Основним завданням є моделювання системи регулювання з П, ПІ-, ПІД-регуляторами.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є однокімнатна квартира в місті Київ з індивідуальним поквартирним опаленням та з встановленою системою регулювання температури в приміщенні у вигляді контролера.

Предмет дослідження:

Предметом дослідження є розподіл температури в приміщенні та споживання природного газу.

Методи дослідження

Для вирішення поставлених завдань і досягнення мети були використані наступні методи дослідження: узагальнення відомих наукових і технічних результатів, фундаментальні методи теорії тепло переносу, методи визначення основних економічних параметрів об'єктів, методи математичного аналізу, математичне та моделювання конвективного теплообміну.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна полягає в тому, що:

1. Методом математичного та комп'ютерного моделювання визначено доцільність використання пропорційно-інтегрального регулятора для найбільш ефективної роботи індивідуальної поквартирної системи опалення.

2. Методом комп'ютерного моделювання доведено правильність розрахунку енергопотреб на опалення квартири.

Практичне значення одержаних результатів

Створено математичні та віртуальні моделі, які дозволяють досліджувати конвективний теплообмін в квартирі, теплові властивості огорожуючих конструкцій та ефективність та роботу індивідуальних інженерних систем в поквартирних індивідуальних системах опалення. Дані моделі можна використовувати в типових багатоквартирних будівлях.

Апробація результатів дисертації

1. Опубліковані тези доповіді «Доцільність регулювання індивідуальної системи опалення» на IX міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем».

2. Опубліковані тези доповіді «Визначення доцільності встановлення контролера в системі з опалення індивідуальних житлових приміщень» на III міжнародній науково технічній конференції «Актуальні проблеми відновлювальної енергетики, будівництва та екологічної інженерії» 7-9 лютого 2019, Кельце, Польща.

Публікації

1. Опубліковані тези доповіді «Доцільність регулювання індивідуальної системи опалення» на IX міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем».

2. Опубліковані тези доповіді «Порівняльний аналіз методів опалення житлових приміщень за допомогою теплої підлоги» на VIII міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина.».

3. Опубліковані тези доповіді «Аналіз системи опалення з контролером роботи двоконтурного газового котла та без нього» на XVI міжнародній науково-практичній конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра.».

4. Опубліковані тези доповіді «Визначення доцільності встановлення контролера в системі з опалення індивідуальних житлових приміщень» на III міжнародній науково технічній конференції «Актуальні проблеми

відновлювальної енергетики, будівництва та екологічної інженерії»
7-9 лютого 2019, Кельце, Польща.

Структура і обсяг дисертаційної роботи

Дана магістерська дисертація складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, висновків та списку використаних літературних джерел. Повний обсяг роботи складає 85 сторінок, включає у себе 53 рисунки, 8 таблиць, 26 джерела в переліку посилань та 1 презентацію.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД РОБІТ

1.1 Сучасні системи водяного опалення

Опалення, за визначенням у вітчизняній нормативній літературі, — підтримання в закритих приміщеннях нормованої оптимальної температури із середньою незабезпеченістю 50 год/рік. Відміною сучасного опалення є автоматичне підтримання (регулювання) у приміщенні температури повітря на індивідуальному рівні з метою забезпечення теплового комфорту. Опалення здійснюють комплексом технічних засобів, який називають системою опалення. В її склад входять засоби для отримання, транспортування і передачі теплоти в усі приміщення, що обігріваються.

Система опалення обслуговується, як правило, комплексом автоматизованої системи управління. Автоматизована система управління підтримує задану температуру повітря у приміщенні незалежно від коливань параметрів оточуючого середовища (атмосферних умов). Класифікація систем водяного опалення надто розгалужена, що пов'язано з багатоваріантністю принципів схем, технічних та функціональних характеристик, які залежать як від технічних можливостей цих систем, так і від об'єктів застосування.

Вибір системи починають техніко-економічними розрахунками з урахуванням якості вихідного теплоносія, ступеня забезпеченості ним і підтримання потрібної його якості у споживача. Альтернативою використання води стали водогліколеві суміші. Виникла відмітність у гідравлічних розрахунках, підборі обладнання та експлуатації систем з цими теплоносіями, яка вимагає розрізнення у класифікації.

Необхідність поквартирного обліку спожитої теплоти розділяє системи опалення на горизонтальні і вертикальні. На ввіді в квартиру приладової вітки горизонтальної системи встановлюють гарячєводні витратоміри (як правило, на зворотному трубопроводі), за кошти споживача — тепломіри (теплотічильники). Для вертикальних систем існує можливість встановлення

індивідуальних капілярних або електронних лічильників теплової енергії на опалювальних приладах за наявності централізовано затверджених методик обліку та узгодження з експлуатаційними організаціями. Установлення таких лічильників доцільне при модернізації систем опалення.

Застосування дахових котелень та підземне будівництво призвело до проектування систем з двома магістральними трубопроводами, розташованими вище опалювальних приладів. Такі системи називають з верхньою розводкою магістралей. При прокладанні їх нижче опалювальних приладів — з нижньою. При проміжному прокладанні та при розташуванні одного з них вище, а другого нижче опалювальних приладів — із змішаною [1] розводкою (раніше ці системи називали з верхньою розводкою). Необхідність такої класифікації пов'язана також з різним впливом природного (гравітаційного) тиску на роботу систем.

Окрему групу становлять панельнопроменеві системи. Найбільш широко застосовують підлогове опалення та його різновид — теплу підлогу, де використовують теплоносій з температурою нижче 60 °С. Приведене значення орієнтовне і потребує уточнення при застосуванні обладнання того чи іншого виробника. Окрім того, така градація пов'язана з тим, що автоматика сучасних індивідуальних котлів відслідковує чотири контури теплоспоживання за максимальними температурами — для басейну, гарячого водопостачання, підлогової та основної систем опалення. Високотемпературні системи традиційно використовуються за їх призначенням. Гравітаційні системи проектують при технікоекономічному обґрунтуванні. Наявність малопотужних малoshумних насосів та автономних джерел електропостачання робить їх використання недоцільним. Різні підходи при гідравлічному розрахунку насосних систем — з або без урахування гравітаційного тиску розмежували їх.

Одним з основних елементів сучасних систем опалення є терморегулятор, який автоматично підтримує задану температуру повітря в приміщенні за рахунок кількісного регулювання теплоносія, що надходить в

опалювальний прилад. При певних перепадах тиску на терморегуляторі може виникнути шум. Тому при проектуванні необхідно забезпечити перепади, при яких рівень шуму не перевищить допустимих значень за [2]. Робота терморегуляторів базується на кількісному регулюванні, тобто змінному гідравлічному режимі. Таке регулювання найкраще забезпечується при використанні насосів, значно гірше — водоструминних елеваторів з регульованим перерізом сопла, не забезпечується нерегульованими елеваторами. Застосування останніх у системах опалення з терморегуляторами є неефективним.

При використанні терморегуляторів рекомендується застосовувати герметичні циркуляційні насоси опалення; в об'єктах з тепловою потужністю системи 50 кВт та вище — насоси з регульованою кількістю обертів або постійною кількістю обертів, але в останньому випадку необхідно забезпечити автоматичне підтримання перепаду тиску між головними магістралями, наприклад, установкою байпаса між ними з автоматичним регуляційно-обвідним клапаном. Вибір схем поквартирних систем опалення здійснюють за техніко-економічним порівнянням проектних рішень. При приблизно однакових теплових потужностях опалювальних приладів доцільно, з точок зору спрощення гідравлічних розрахунків і забезпечення гідравлічної та теплової сталості системи, використовувати схему з супутнім рухом теплоносія [3].

Для створення таких сучасних систем опалення вимагається значна технічна різноманітність запірної та регулюючої арматури, комплекс регулюючих приладів та пристроїв, компактна та надійна структура трубопровідного комплексу. Ступінь надійності кожного елементу та прибору системи опалення повинна відповідати сучасним високим вимогам та бути ідентичною між всіма елементами системи [4].

1.2 Системи автоматичного регулювання

В останні роки все більшу актуальність набувають системи автоматичного регулювання теплопостачання [5].

Завданням автоматичного регулювання є підтримання в певних межах або на постійному рівні того чи іншого параметра (температури, тиску, витрати та ін.) технологічного процесу. Під дією зовнішнього впливу відбувається відхилення регульованого параметра від заданого значення. Автоматичний регулятор створює регулюючу дію, по знаку протилежному відхиленню параметра.

Такий тип зв'язку називається негативно зворотнім зв'язком. Таким чином, система автоматичного регулювання (САР) – це замкнута динамічна система з негативним зворотнім зв'язком. Даний принцип регулювання по відхиленню регульованого параметра (принцип Ползунова) використовується при побудові практично всіх САР теплоспоживчих систем [4].

Основні переваги САР:

- застосування алгоритмів і програм управління для регулювання параметрів, забезпечує заданні умови функціонування системи теплопостачання в автоматичному режимі;
- розширяє технічні можливості опалювальних систем та удосконалює систему контролю за їх роботоздатністю;
- здійснює автоматичний моніторинг і регулювання роботоздатності системи опалення [5].

САР можна класифікувати за призначенням:

- стабілізуючого регулювання;
- слідкуючого регулювання;
- програмного регулювання.

САР стабілізуючого регулювання, також названа термостатом, підтримує регульовані параметри стабільними, постійними, наприклад, регулювання температури води системи підлогового опалення.

САР слідкуючого регулювання забезпечує зміну регульованого параметра в залежності від зміни іншого параметра, наприклад, зміна температури теплоносія системи опалення в залежності від зміни температури зовнішнього повітря.

САР програмного регулювання змінює значення регульованого параметра в час за заданою програмою, наприклад, автоматичне зниження температури повітря у виробничому приміщенні в неробочі періоди.

Загалом, системою автоматичного регулювання САР називають замкнуту динамічну систему, яка складається з об'єкта регулювання ОР і автоматичного регулятора АР, взаємодіючих між собою.

Об'єктом регулювання ОР називають установку або технологічний комплекс, в якому відбувається вимірювання регулюючого параметра під впливом зміни навантаження (збурюючих впливів) або керуючого впливу автоматичного регулятора.

Автоматичним регулятором називають пристрій, який забезпечує підтримку регулюючого параметра в об'єкті регулювання на заданому рівні або його зміни по заданому закону або в залежності від іншого параметра. Автоматичний регулятор включає в себе безпосередньо регулятор, а також виконавчий пристрій.

До регулятору підключаються:

- на вході – датчик вимірюваного (регульованого) параметра та пристрій, що задає значення регульованого параметра;
- на виході – виконуючий пристрій, яке в свою чергу складається з виконавчого механізму і регулюючого органу.

Регулятори можна класифікувати наступним чином:

1. За призначенням:

- регулятори температури;
- регулятори різниці температур;
- регулятори тиску;
- регулятори перепаду тиску;

- регулятори витрати;
- регулятори рівня і інші.

2. За способом дії:

- прямої дії, які для регулюючого впливу на об'єкт регулювання використовують енергію регульованого середовища;
- непрямої дії, які для регулюючого впливу на об'єкт регулювання використовують енергію побудованого стороннього джерела (електричну та іншу).

3. За характером регулюючого впливу (за характером переміщення регулюючого органу):

- дискретної (переривчастої) дії: позиційні, релейні, імпульсні;
- безперервної дії: статичні (пропорційні П - регулятори), астатичні (інтегральні І - регулятори), ізодромні (пропорційно - інтегральні ПІ - регулятори), пропорційно – інтегрально-диференціальні (ПІД регулятори).

Застосовуються в основному електронні та цифрові ПІД - регулятори і двопозиційні регулятори, а також пропорційні регулятори прямої дії [4].

1.2.1 Узагальнена структура САР

Стан об'єкта регулювання протягом процесу регулювання характеризується величиною відхилення $\pm \Delta X$ значення регульованого параметра X від заданого значення $X_{зад}$. Відхилення $\pm \Delta X$ виникає внаслідок зміни величини впливів, що обурюють (зовнішніх і внутрішніх), а також через зміну величини навантаження.

У системах теплоспоживання обурення безперервно змінюються в ту чи іншу сторону, і відповідно безперервно змінюється вимірюваний параметр X , відхиляючись від заданого значення $X_{зад}$. Навантаження змінюється автоматичним регулятором в напрямку, протилежному напрямку збурень.

Регулятор таким чином прагне повернути значення регульованого параметра X до заданого значення $X_{\text{зад}}$.

На (рисунку 1.1) показано узагальнену структуру системи автоматичного регулювання та її принцип роботи.

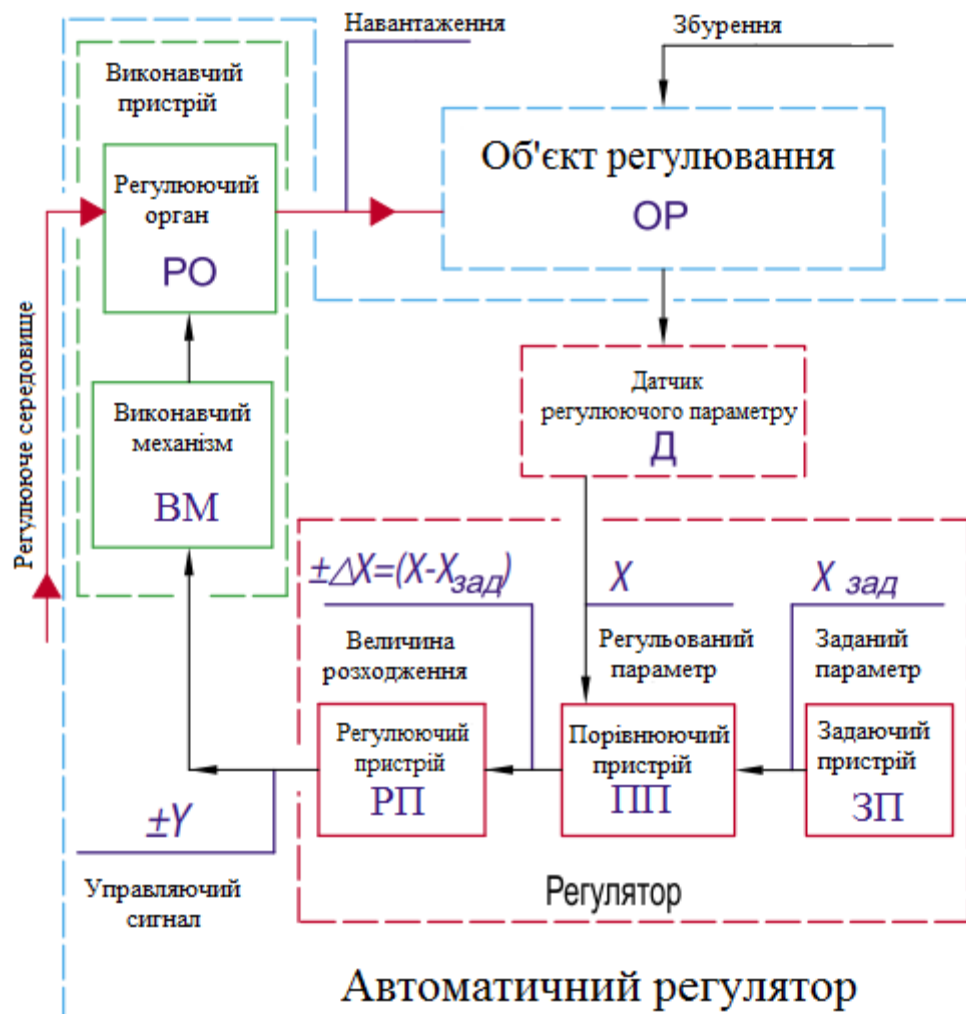


Рисунок 1.1 – Узагальнена структурна схема САР

Сигнал про значення регульованого параметра надходить на вхід автоматичного регулятора, який змінює навантаження об'єкта регулювання.

Автоматичний регулятор включає в себе безпосередньо регулятор, на вхід якого підключається датчик (Д) вимірюваного параметра, а на вихід - виконавчий пристрій.

Регулятор порівнює заданий параметр $X_{\text{зад}}$ з регульованим параметром X і отриману величину неузгодженості $\pm \Delta X$ перетворює в керуючий сигнал $\pm \Delta Y$, що впливає на роботу виконавчого пристрою.

Виконавчий пристрій впливає на регульоване середовище, змінюючи під дією керуючого сигналу, що надходить від регулятора, навантаження об'єкта регулювання. Виконавчий пристрій складається з двох елементів - виконавчого механізму ВМ і регулюючого органу РО. Елементи автоматичного регулятора - датчик, регулятор, виконавчий пристрій - можуть бути поєднані в різному поєднанні цих трьох елементів, або являти собою роздільні самостійні пристрої. Випускаються регулятори в наступному поєднанні складових елементів:

1. Автоматичний регулятор, який об'єднує в собі всі три елементи: датчик, регулятор, виконавчий пристрій. Це характерно для гідравлічних і манометричних регуляторів прямої дії, наприклад, для регуляторів тиску, регуляторів перепаду тиску, регуляторів витрати, регуляторів температури.
2. Автоматичний регулятор, в якому датчик і регулює прилад об'єднані в одному виробі, що замовляється окремо від виконавчого пристрою.
3. Автоматичний регулятор, в якому датчик, який регулює прилад і виконавчий механізм об'єднані в одному виробі, що замовляється окремо від регулюючого органу.
4. Автоматичний регулятор, в якому всі елементи виконані у вигляді окремо замовлених виробів. Це характерно для всіх електричних типів регуляторів (непрямої дії).

Властивості регулятора визначаються його типом, законом регулювання, а також передбаченими для нього налаштуваннями.

Якість процесу і результат регулювання характеризуються комплексом статичних і динамічних характеристик САР. Як правило, автоматичний регулятор вибирають, попередньо обумовлюючи необхідний перелік і необхідні значення цих характеристик з урахуванням динамічних характеристик об'єкта регулювання.

Основні показники якості регулювання:

- установлена помилка або усталена неузгодженість, яка називається також точністю регулювання;
- динамічна помилка, яка дорівнює максимальному динамічному відхиленню регульованого параметра;
- час регулювання, відповідний моменту, коли регульований параметр входить в зону нечутливості регулятора.

Крім якісних показників при виборі типу регулятора в рівній мірі доводиться орієнтуватися і на інші показники: його вартість, експлуатаційні витрати, вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу. Тому, за інших рівних умов, в першу чергу найбільш затребуваними є пропорційні регулятори прямої дії (тиску, перепаду тиску, температури) і двопозиційні регулятори (температури і різниці температур) [4].

1.2.2 Автоматичні регулятори

Регулятори з лінійним законом регулювання по математичній залежності між вхідними і вихідними величинами поділяються на наступні види [6]:

- пропорційні (П-регулятори);
- пропорційно-інтегральні (ПІ-регулятори);
- пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД-регулятори).

При розробці систем управління температурою приміщення виникає ряд проблем, таких як визначення часу, необхідного для підвищення температури для забезпечення заданих значень до необхідного моменту, вибір алгоритму регулювання температури і визначення числових параметрів обраного алгоритму [7].

Процес регулювання починається з моменту внесення обурення в об'єкт регулювання і закінчується після досягнення нового сталого стану САР, або по поверненню САР до колишнього значенням заданого регульованого

параметра. Даний процес переходу від одного усталеного стану САР до іншого називають перехідним процесом і характеризують основними показниками якості регулювання: часом регулювання t_P ; динамічною помилкою $\Delta X_{\text{МАКС}}$ (максимальне динамічне відхилення регульованого параметра); усталеною помилкою ε або точністю регулювання (різниця між сталим значенням і заданим значенням регульованого параметра).

На (рисунку 1.2) показаний графік перехідного процесу регулювання при стрибкоподібному збільшенні збурення з показниками якості регулювання, де:

- t_P – час регулювання;
- $\Delta X_{\text{МАКС}}$ – динамічна помилка;
- ε – що встановилася помилка або точність регулювання;
- δ – поріг нечутливості регулятора;
- 2δ – зона нечутливості регулятора.

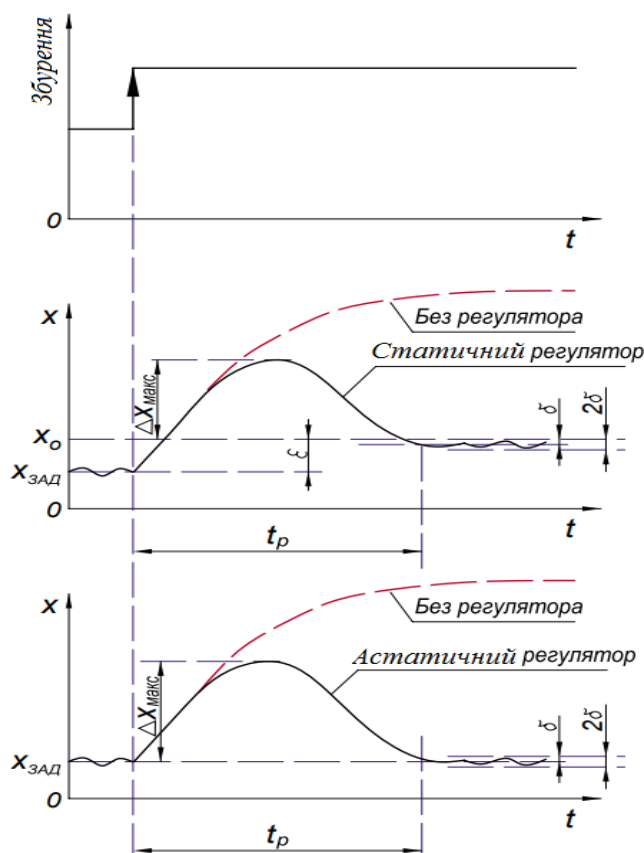


Рисунок 1.2 – Графік перехідного процесу регулювання при стрибкоподібному збільшенні збурення з показниками якості регулювання

На (рисунку 1.3) наведені характеристики П-, І-, ІІІ- та ПІД-регуляторів стосовно одного й того ж об'єкту регулювання. На вході регуляторів докладене стрибкоподібне збурення. Показано, як змінюється регульований параметр в результаті регулюючого впливу різних регуляторів, а також при відсутності регулятора.

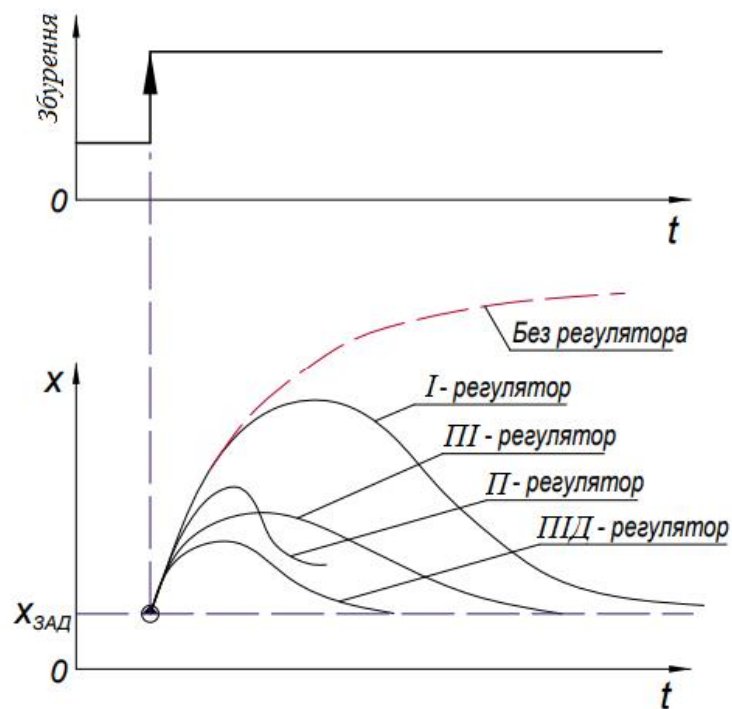


Рисунок 1.3 – Характеристики переходного процесу регулювання для різних типів регулювання

Найменший час регулювання t_P дає САР з пропорційним регулятором (П-регулятором). Трішки довше протікає процес регулювання в САР з ПІД-регулятором. Більш тривалий процес в САР з ІІІ-регулятором, і особливо тривалий в САР з І-регулятором.

Найбільше значення динамічної помилки $\Delta X_{\text{МАКС}}$ дає система з І-регулятором.

Система з П-регулятором знижує значення динамічної помилки. Система з ІІІ-регулятором знижує його ще більш, система з ПІД-регулятором значно зменшує відхилення $\Delta X_{\text{МАКС}}$ регульованого параметра і скорочує час регулювання t_P . За своїми можливостями ПІД-

регулятор є найбільш універсальним, з його допомогою можна здійснювати різні закони регулювання.

Автоматичний регулятор включає в себе датчик, регулятор і виконавчий пристрій, що складається, в свою чергу, з виконавчого механізму і регулюючого органу.

Датчик є вимірювальним перетворювачем, що сприймає регульований параметр. Регулятор порівнює регульований параметр X , вимірюваний з допомогою датчика, із заданим параметром $X_{\text{Зад}}$ і впливає на роботу виконавчого механізму.

Виконавчий механізм управляє регулюючим органом, що змінює кількість регульованою середовища, змінюючи, таким чином, навантаження об'єкта регулювання з метою зміни регульованого параметра X в напрямку задається значення $X_{\text{Зад}}$ [4].

1.3 Індивідуальна система опалення та її регулювання.

1.3.1 Індивідуальна система опалення.

На сьогоднішній день в Україні існує тенденція нової забудови з системою індивідуального опалення. Під системою індивідуального опалення мають на увазі систему поквартирного теплопостачання (опалення та/або гарячого водопостачання), тобто система, яка розташована в окремому приміщенні в межах даної квартири та призначена для обслуговування цієї квартири [8].

Індивідуальне опалення має перевагу над централізованим – воно може регулюватися самими власниками житла в залежності від їх потреб і бажань. Індивідуальне опалення актуальне як для власників приватних будинків і котеджів, так і для власників квартир, де є централізовані тепломережі, але які не завжди справляються зі своїм призначенням. При підключенні

індивідуального опалення мешканець оплачує лише ту частину енергії, яку він спожив. Системи індивідуального опалення також мають додаткову можливість – індивідуальне гаряче водопостачання [9].

Нагрівальним елементом або теплогенератором таких систем за часту слугує двоконтурний газовий або електричний котел, проте можливі варіанти, переважно для будинку, встановлення теплового насосу, котли на різних видах палива та різноманітні комбіновані системи.

Щодо індивідуального опалення, поквартирного, то такий тип опалення встановлюється в районі з відсутнім централізованим теплопостачанням. В будинках заввишки до 10 поверхів включно (не вище 35 м), у тому числі що мають вбудовані приміщення громадського призначення встановлюють теплогенератори, що працюють на газовому паливі з закритими камерами згоряння [10], з вищою забудовою, електричні. Необхідно зауважити, що в більшості випадків в квартирах встановлюють лише котел з радіаторною системою водяного опалення без будь якої системи регулювання. Такі системи не є ефективними, оскільки регулювання здійснюється механічно користувачем, що часто приводить до неефективного споживання природного газу чи електроенергії та забезпечення некомфортних умов в приміщенні. Також із підвищенням тарифів на природний газ та електроенергію постає проблема із значними витратами в опалювальний період.

Регулювання температури повітря в приміщенні відіграє важливу роль, оскільки напряду впливає на ККД системи та загальних тепловтрат підсистем тепловіддачі.

1.3.2 Регулювання індивідуальної системи опалення.

Зниження споживання енергоресурсів може досягатися різними шляхами. Один з них – це використання сучасних теплоізоляційних матеріалів та технологій на стадіях проектування і експлуатації будівлі. Другим напрямком є використання відновлювальних та альтернативних джерел

енергії в системах розподіленої генерації. Третій напрямок – використання автоматичного керування системами теплопостачання будівель (метод оптимального регулювання температури). Останній підхід є найбільш ефективним з точки зору забезпечення комфортних умов, з урахуванням добових та сезонних коливань зовнішніх погодних умов [11].

Суть методу оптимального регулювання температури приміщень полягає в тому, що під час відсутності людей температура повітря в приміщенні знижується до певного значення температури, потім в певний момент часу система опалення знову включається для прогріву повітря до комфортної температури до моменту приходу людей в приміщення [12].

Таке оснащення житлових приміщень системами програмного управління температурою дозволяє скоротити витрати енергії на опалення за рахунок зниження температури в періоди відсутності людей і адаптації витрати теплової енергії до зміни температури навколишнього середовища [13].

Найпростішим та найдешевшим видом регулювання індивідуальної системи опалення є механічне регулювання температури теплоносія котла (погодне регулювання) або ж якщо радіаторна система квартири передбачає байпас або двоконтурна то напряду зменшувати витрату теплоносія за допомогою термостатичного клапана на самому радіаторі.

Проте, існують автоматизовані системи, які дозволяють регулювати роботу котла та/або напряду зменшувати витрату теплоносія в батареї.

1.3.3 Погодне регулювання

В системі індивідуального опалення погодне регулювання здійснюється двома шляхами, а саме безпосередньо користувачем (механічне) або за допомогою системи погодного регулювання.

Механічне регулювання здійснюється користувачем, а саме в залежності від температури навколишнього середовища, необхідно змінювати температуру подачі теплоносія в котлоагрегаті.

Дане регулювання не дозволяє забезпечити комфортні умови в приміщенні та уникнути явища «переопалення» у приміщеннях, що спостерігається при температурах зовнішнього повітря від 0°C та вище [14] та аналогічно «недоопалення» при температурі зовнішнього повітря нижче 0°C .

Система погодного регулювання дозволяє змінювати температуру теплоносія відповідно до змін температури навколишнього середовища. Регулювання температури теплоносія відбувається за рахунок обмеження витрати рідини за допомогою триходового клапана і забору рідини з трубопроводу зворотного потоку води. Тобто термостат визначає потрібну температуру подачі теплоносія в систему і забезпечує підмішування більшої чи меншої кількості води з зворотного трубопроводу для зниження чи підвищення температури теплоносія, що подається в систему.

Необхідно зауважити, що якщо в систему не встановлено прилад вимірювання параметрів повітря всередині квартири, то погодне регулювання системи опалення здійснюється згідно з температурним графіком (рисунок 1.4).

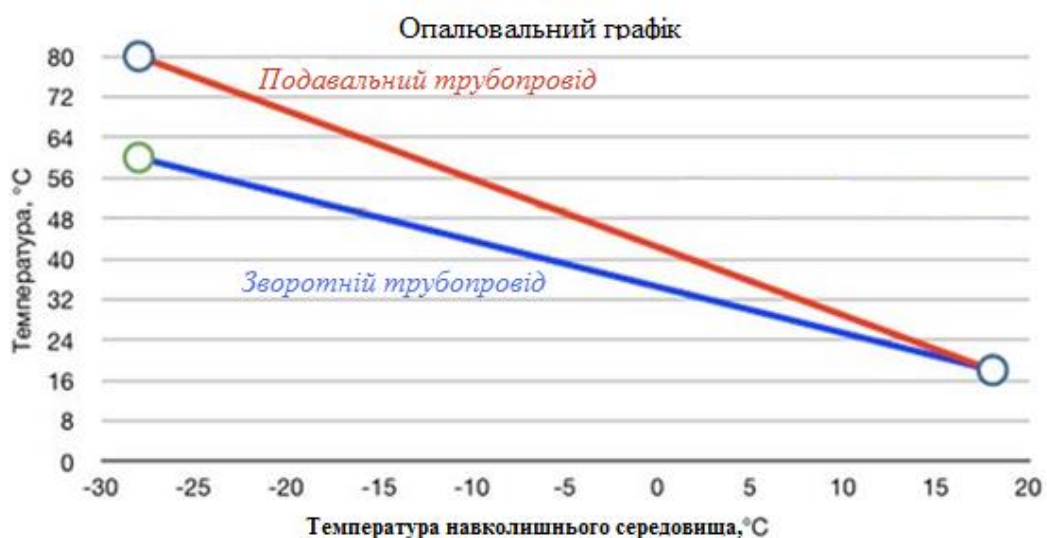


Рисунок 1.4 – Температурний графік теплоносія

Загалом система працює за допомогою контролера, який зчитує дані про кліматичні зміни з датчиків зовнішньої та внутрішньої температури через певні проміжки часу. Потім контролер обробляє дані, порівнює з показаннями датчиків температури теплоносія і формує сигнал, що подається на механізм триходового клапана. Після отримання команди триходовий клапан відкриває або закриває підмішування води з зворотного трубопроводу.

Така система включає в себе: контролер, насос, клапан, привід, датчики зовнішньої та внутрішньої температури повітря, запірна арматура та зворотній клапан.

Основною задачею такої системи є підтримання графіка теплоносія в залежності від зміни температури навколишнього середовища та зменшення споживання енергоресурсів [15].

1.3.4 Регулювання за допомогою термостатичного клапана

Знизити чи підвищити температуру повітря в приміщенні за допомогою встановленого на батарею регулятора досить просто – автоматичний клапан, в залежності від обраного режиму, регулює потік води через радіатор, тим самим зменшуючи або збільшуючи його прогрів. Чим менше теплоносія проходить через опалювальну батарею, тим менше тепла вона віддає в навколишнє повітря [16].

Даний метод регулювання дозволяє контролювати температуру в кожній кімнаті окремо, оскільки на кожну батарею встановлюється термостатичний клапан, який зменшує витрату теплоносія. Такий тип регулювання можна назвати «кількісним». Необхідно зауважити, що застосування даного типу регулювання в однотрубній системі можливе лише за наявності в радіаторній системі байпасу.

Даний регулятор (рисунок 1.5) простий за своєю конструкцією, представляє собою гофровану герметичну камеру (сильфон), наповнену певним газом або рідиною. При підвищенні температури в приміщенні газ

розширюється, і тоді сильфон випрямляється. Далі в справу вступає запірний клапан, керований термоголовою, він починає рухатися і перекриває потік теплоносія в радіатор, зменшуючи тим самим тепловіддачу радіатора та температуру в кімнаті. При зниженні температури в кімнаті відбувається зворотний ефект: термоголовка стискається, відкриваючи клапан, і подача теплоносія в радіатор збільшується [17].

Манометричні термометри використовують в П-регуляторах прямої дії, в яких поєднано одночасно датчик, регулятор з задатчиком (пристроєм для задання необхідної температури) та виконуючим механізмом.



Рисунок 1.5 – Терморегулятор на радіатор

Існують різні термоголовки для радіаторів, але в цілому їх можна розділити на механічні та електронні. За принципом роботи електронний терморегулятор нічим не відрізняється від механічного, але в ньому зручніше налаштовувати бажану температуру, також можна відразу відстежувати температуру в приміщенні. Перевага електронних моделей полягає в тому, що вони, як правило, програмовані, тому можна задати температурний графік в приміщенні, що підвищує енергоефективність системи [18].

1.3.5 Регулювання за допомогою контролера

Регулювання здійснюється за допомогою контролера (рисунок 1.6). Даний пристрій дозволяє регулювати роботу котла в будь якій зручній для користувача формі. Він допомагає зменшити витрати на газ або електроенергію, збільшити термін роботи котла та забезпечує постійну температуру в приміщенні.



Рисунок 1.6 – Контролер регулювання температури в приміщенні

Головною складовою пристрою є датчик температури, який реєструє температуру в приміщенні. Бажане значення цієї температури, користувач може коригувати сам, а саме задаючи необхідні значення будь яким способом, передбаченим конструкцією пристрою. Тобто, терморегулятор є своєрідним датчиком контролю, який порівнює вхідні дані датчика температури із заданими значеннями користувача, та по результатам порівняння генерує та подає сигнали на автоматику котла про необхідність запуску та виключення підігріву теплоносія задля підтримання заданої температури в кімнаті. До того ж великою перевагою даного пристрою є те, що можна задати температурний графік на кожен день протягом тижня.

Для порівняння: в системі без терморегулятора, датчик в котлі орієнтується на температуру теплоносія. Як тільки температура води в мережі падає нижче уставки, котел включає підігрів теплоносія. Такий режим роботи котла не є зручним, оскільки при зміні температури навколишнього середовища, необхідно постійно змінювати температуру теплоносія вручну і не один раз. До того ж, недоліком даного режиму є і те, що котел часто запускається через кожні 3-5 хвилин, що на пряму збільшує витрату на енергоресурси [19].

Даний вид регулювання, дозволяє значно зменшити витрату на енергоресурси та досягти комфортних умов в приміщенні.

Висновки до розділу

Система індивідуального поквартирного опалення – система, яка розташована в межах квартири, має свій індивідуальний комплекс технічних засобів та призначена для обслуговування цієї квартири.

Така система опалення може обслуговуватись комплексом автоматичних систем управління. Дані системи дозволяють підтримувати задану температуру повітря у приміщенні незалежно від коливань параметрів оточуючого середовища. До таких систем можна віднести систему регулювання за допомогою термостатичного клапану та систему регулювання контролером.

Ці дві системи дозволяють підтримувати температуру в приміщенні на заданому користувачем рівні, проте їх принцип роботи досить різний. Система з термостатичним клапаном регулює подачу теплоносія в радіатор, а система з контролером регулює режим роботи котла.

За допомогою обох систем можна досягати комфортних умов, проте в цілях економії енергоресурсів система з контролером має переваги, оскільки система працює не постійно, має переривчастий характер та менше включень. Така періодичність роботи котла допомагає зменшити споживання

енергоресурсів, а отже і витрати на них, що дає економію в опалювальний період до 30%.

Система з термостатичним клапаном працює в звичайному режимі котла, який має частий період включень та не регулює температуру теплоносія, тому таку систему не доцільно використовувати з метою економії.

2 ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Опис об'єкту дослідження

Об'єктом дослідження було обрано житлове приміщення (рисунок 2.1), а саме однокімнатну квартиру, загальною площею 48 м². Квартира знаходиться в місті Київ та має східно-західну орієнтацію.

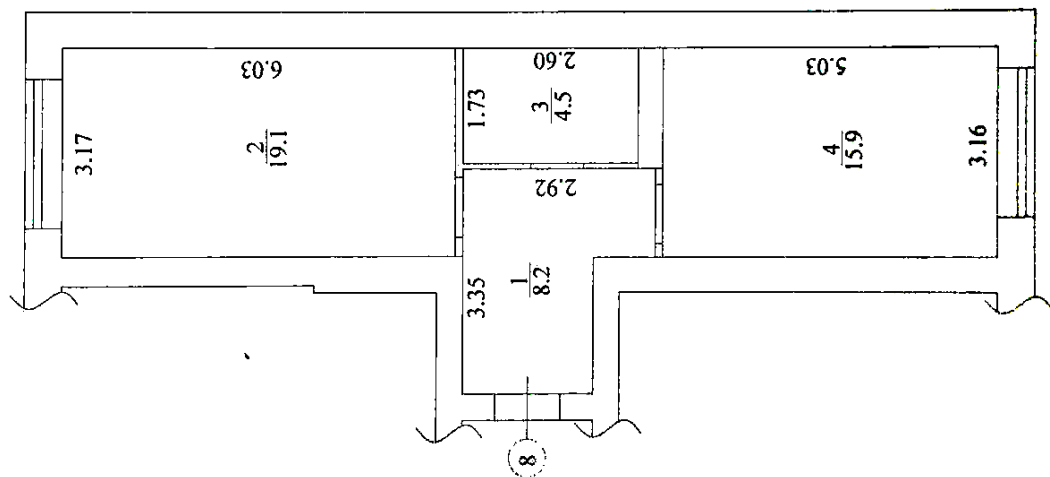


Рисунок 2.1 – План квартири

Основні характеристики шарів стінової конструкції згідно з [20]:

- внутрішня штукатурка товщиною $\delta=0,015$ м та теплопровідністю $\lambda=0,93$ Вт/(м·К);
- цегляна кладка на цементно-піщаному розчині товщиною $\delta=0,38$ м та теплопровідністю $\lambda=0,81$ Вт/(м·К);
- утеплювач екструдований пінополістирол товщиною $\delta=0,1$ м та теплопровідністю $\lambda=0,037$ Вт/(м·К);
- зовнішня фасадна штукатурка товщиною $\delta=0,01$ м та теплопровідністю $\lambda=0,6$ Вт/(м·К).

Система опалення даної квартири, представляє собою індивідуальну систему опалення (рисунок 2.2) з двоконтурним газовим котлом Fondital Antea CTFS24 (потужністю 24 кВт та ККД 0,9) та встановленим контролером Auraton 2030 RTH.

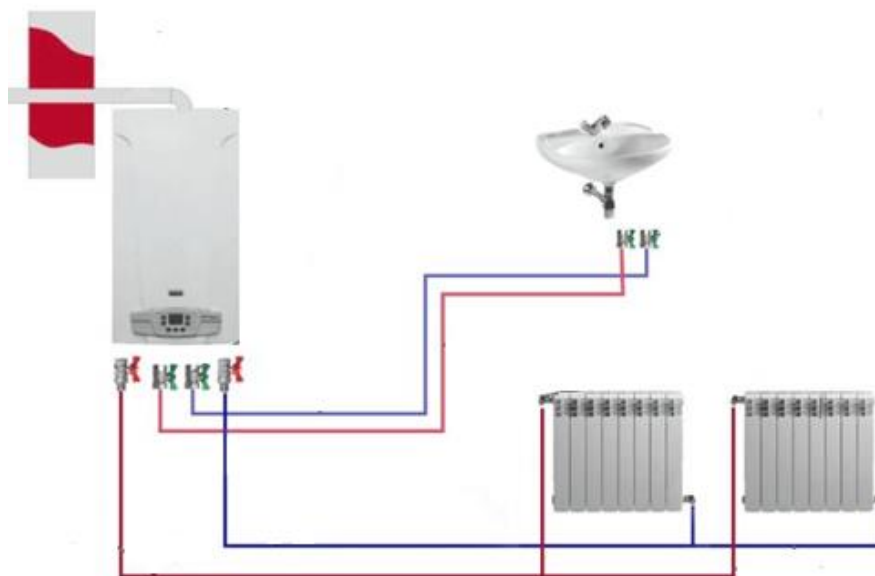


Рисунок 2.2 – Приклад індивідуальної системи опалення з двоконтурним котлом

Радіаторна система опалення об'єкту представляє собою двотрубну систему з паралельним підключенням радіаторів, включає два радіатора загальна тепловіддача при температурі теплоносія 70°C складає 3,29 кВт та 2,709 кВт відповідно, а також рушникосушку тепловіддачею 322 Вт.

Регулювання роботи котла здійснюється за допомогою контролера. За відсутністю контролера, можливе регулювання механічно, а саме налаштуванням температури теплоносія, зменшуючи або підвищуючи температуру теплоносія залежно від погодних умов.

Даний контролер дозволяє ж автоматично регулювати роботу котла, а саме режим включення/виключення, в залежності від внутрішньої температури в кімнаті та заданого температурного режиму в контролері. Дана система дозволяє зменшити фактичну потребу на опалення та споживання природного газу за рахунок зменшення кількості (періоду) включення котла, а також дозволяє споживачу контролювати внутрішню температуру в приміщенні та досягати комфортних умов.

ГВП здійснюється також за рахунок котла. При цьому працює лише або контур ГВП або ж опалення, оскільки теплообмінник обох контурів поєднаний в один за принципом «труба в трубі», де зовнішній контур – опалення, внутрішній відповідно ГВП.

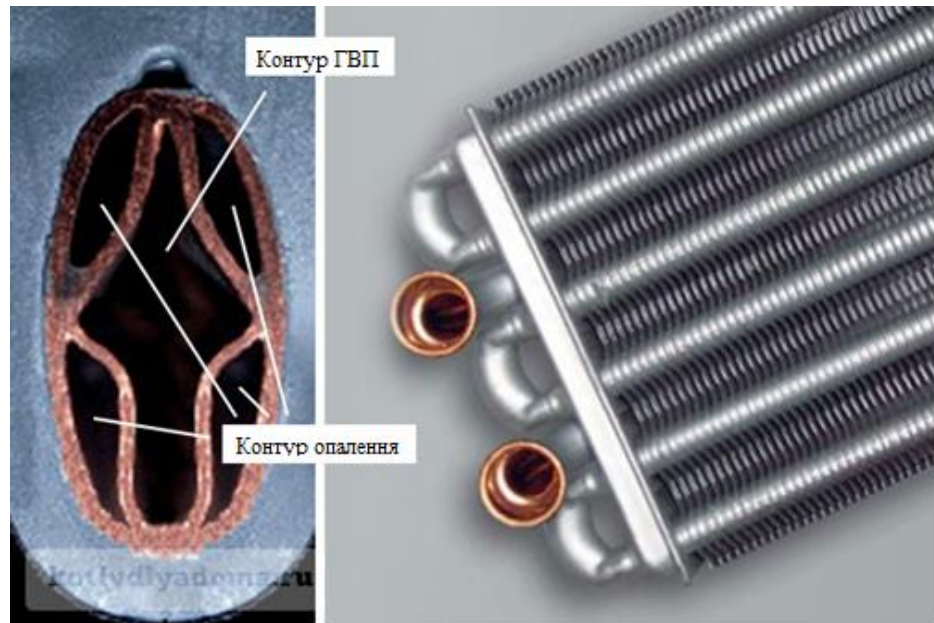


Рисунок 2.3 – Бітермічний (здвоєний) теплообмінник

Система вентиляції об'єкту є природно-витяжна.

2.2 Розрахунок енергопотреби на опалення об'єкту.

Згідно з [21] проведемо розрахунок енергетичної потреби на опалення для даної квартири.

Розрахунок проводиться для кожного місяця опалювального періоду.

Енергопотреба на опалення приміщення розраховується за формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}, \quad (2.1)$$

де $Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення, Вт·год;

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення, Вт·год;

$\eta_{H,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень.

Сумарна теплопередача в режимі опалення визначається:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} , \quad (2.2)$$

де Q_{tr} – сумарна теплопередача трансмісією, Вт·год;

Q_{ve} – сумарна теплопередача вентиляцією, Вт·год.

Сумарна теплопередача трансмісією визначається:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t , \quad (2.3)$$

де $H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією зони, Вт/К;

$\theta_{int,set,H}$ – задана температура зони будівлі для опалення, °С;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

t – тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год.

Загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією розраховуємо за формулою:

$$H_{tr,adj} = b_{tr} \cdot [\sum(A_i \cdot U_i) + \sum(l_i \cdot \psi_i) + \sum(n_i \cdot x_i)] , \quad (2.4)$$

де b_{tr} – поправочний коефіцієнт, приймаємо рівним 1;

A_i – площа і-го елемента оболонки приміщення, м²;

U_i – приведений коефіцієнт теплопередачі і-го елемента оболонки будівлі, Вт/(м²·К), що становить $U_i = 1/R_{\Sigma pri}$;

$R_{\Sigma pri}$ – приведений опір теплопередачі і-го елемента оболонки будівлі, м²·К/Вт.

Розраховуємо трансмісійні витрати за формулою (3) для кожного місяця та заносимо результати до таблиці 1.

Розрахунок сумарної теплопередачі вентиляцією.

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H,z} - \theta_e) \cdot t , \quad (2.5)$$

де $H_{ve,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$\theta_{int,set,H,z}$ – задана температура зони будівлі для опалення °С;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

t – тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год.

Знаходження загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot (\sum b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,nm}), \quad (2.6)$$

де $\rho_a \cdot c_a$ – теплоємність повітря одиниці об'єму, дорівнює 0,3 Вт·год/(м³·К);

$q_{ve,k,nm}$ – усереднена а часом витрата повітря від k-го елемента, м³/год;

$b_{ve,k}$ – температурний поправочний коефіцієнт для k-го елемента повітряного потоку, приймаємо рівним 1.

Усереднену за часом витрату повітря k-го елемента повітряного потоку $q_{ve,k,nm}$, м³/год, розраховують за формулою:

$$q_{ve,k,nm} = n_{inf,mn} \cdot V, \quad (2.7)$$

де $n_{inf,mn}$ – кратність повітрообміну (приймаємо 0,7 год⁻¹, оскільки кратність повітрообміну забезпечується за рахунок природньої вентиляції);

V – кондиціонований об'єм зони /будівлі, м³.

Розраховуємо вентиляційні витрати за формулою (2.5) для кожного місяця та заносимо результати до таблиці 1.

Таблиця 2.1 – Сумарні трансмісійні та вентиляційні тепловтрати приміщення.

Місяць	θ_e , °C	t, год	$\theta_{int,set,H}$, °C	Htr,adj, Вт/К	Hve,adj, Вт/К	Qtr, кВт·год	Qve, кВт·год
жовтень	8,1	372	20	33,54	29,94	148,48	132,53
листопад	1,9	720				437,10	390,15
грудень	-2,5	744				561,46	501,16
січень	-4,7	744				616,36	550,16
лютий	-3,6	672				531,92	474,79
березень	1	744				474,12	423,20
Σ						2769,44	2471,97

Отже, загальні тепловтрати для опалювального періоду складають 5241,41 кВт·год.

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі, що розглядається, Q_{int} , Вт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою:

$$Q_{int} = (\sum \Phi_{int,mn,k} \cdot A_f) \cdot t, \quad (2.8)$$

де $\Phi_{int,mn,k}$ - усереднений за часом тепловий потік від k-го внутрішнього джерела, Вт/м, визначається згідно [21] таблиці 6;

A_f – кондиціонована площа зони будівлі, м²;

t – тривалість періоду використання, виражена у годинах на місяць.

Сонячні теплонадходження визначаються за формулою:

$$Q_{sol} = (\sum \Phi_{sol,mn,k}) \cdot t, \quad (2.9)$$

де $\Phi_{sol,mn,k}$ – усереднений за часом тепловий потік від k-го джерела сонячного випромінювання, Вт, включає в себе тепловий потік світлопрозорих (вікна) та непрозорих (стіни) елементів будівлі;

t – тривалість місяця, що розглядається, виражена у годинах.

Розраховуємо внутрішні та сонячні теплонадходження відповідно за формулами (2.8), (2.9) та заносимо результати до таблиці 2.2 та таблиці 2.3 відповідно.

Таблиця 2.2 – Сумарні внутрішні теплонадходження

Місяць	t, год	A, м ²	Φint, Вт/м	Qint, кВт·год
жовтень	372	48	3,91	69,88
листопад	720			135,24
грудень	744			139,75
січень	744			139,75
лютий	672			126,23
березень	744			139,75
Σ				750,6

Таблиця 3 – Сумарні сонячні теплонадходження

Місяць	Isol, м², cx	Isol, м², зх	Asol, Вт/м² вік.	Asol, Вт/м² ст.	Φsol, Вт/м вік.	Φsol, Вт/м ст.	Qsol, кВт·год
жовтень	38	37	0,45	0,03	37,26	9,06	17,23
листопад	17	17			16,89	1,81	13,46
грудень	14	15			14,41	0,92	11,40
січень	21	22			21,36	3,40	18,42
лютий	36	38			36,76	8,88	30,68
березень	58	61			59,12	16,85	56,52
Σ							147,72

Отже, загальні теплонадходження для опалювального періоду складають 898,3 кВт·год.

Розраховуємо енергопотребу на опалення для нормативних умов за формулою (2.1) :

$$Q_{H,nd} = 5241,41 - 0,2 \cdot 898,3 = 5061,75 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Отже, загальна енергопотреба на опалення об'єкту складає 5061,7 кВт·год.

2.3 Визначення витрати природного газу на потребу опалення об'єкту та порівняння з фактичним споживанням

Витрата природного газу на потребу опалення визначається за наступною формулою:

$$B_{gas} = \frac{Q_H \cdot 3,6}{\eta \cdot Q_H^P}, \quad (2.10)$$

де Q_H – енергопотреба на опалення, кВт·год;

η – ККД системи опалення;

Q_H^P – теплота згоряння природного газу, яка згідно з [22] дорівнює 31,8 МДж/м³.

ККД системи опалення розраховується за наступною формулою:

$$\eta = \eta_b \cdot \eta_{em}, \quad (2.11)$$

де η_b – ККД котла;

η_{em} - загальний рівень ефективності для тепловіддавальної складової системи у приміщенні, що визначають за формулою:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})]}, \quad (2.12)$$

де η_{str} - складова загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення;

η_{ctr} - складова загального рівня ефективності, яка враховує регулювання температури приміщення;

η_{emb} - складова загального рівня ефективності, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень (для вбудованих систем).

Розрахуємо η_{em} згідно формули (2.12) за даними таблиці 17 [21]:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (0,93 + \frac{0,93 + 0,83 + 0,95}{3} + 1)]} = 0,86.$$

Далі розрахуємо ККД системи та визначимо необхідну витрату природного газу для кожного місяця опалювального періоду за формулами (2.11) та (2.10) відповідно. Результати розрахунків занесемо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахункова витрата природного газу на енергопотребу в опалювальний період

Місяць	η	Q_H^p , МДж/м ³	Q_H , кВт·год	B_{gas} , м ³
жовтень	0,774	31,8	263,58	38,55
листопад			797,50	116,64
грудень			1032,39	151,00
січень			1134,88	165,99
лютий			975,33	142,65
березень			858,07	125,50

Проведемо порівняльний аналіз з фактичним споживанням природного газу в опалювальний період 2017/2018 роки.

Дані споживання природного газу занесено до таблиці 5.

Таблиця 2.5 – Фактична витрата природного газу в опалювальний період 2017/2018 років.

Місяць	$B'_{gas}, \text{м}^3$
жовтень	68
листопад	122
грудень	140
січень	169
лютий	168
березень	129

Для приведення фактичного споживання природного газу до нормативних умов, необхідно скористатися наступними формулами:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{факт}} \cdot k_{\text{пр}}, \quad (2.13)$$

$$k_{\text{пр}} = \frac{ГД^{\text{норм}}}{ГД^{\text{факт}}} = \frac{t_{\text{вн}}^{\text{норм}} - t_{\text{с.м.}}^{\text{норм}}}{t_{\text{вн}}^{\text{факт}} - t_{\text{с.м.}}^{\text{факт}}}, \quad (2.14)$$

де $Q_{\text{факт}}$ – фактичне теплоспоживання для потреб опалення будівлі, кВт·год;

$ГД^{\text{норм}}$, $ГД^{\text{факт}}$ – нормативна та фактична кількість градусо-днів опалювального періоду.

Приведення теплоспоживання до нормативних умов полягає у використанні при розрахунку фактичної кількості ГД ОП не нормативної, а фактичної температури в середині приміщень та зовнішнього повітря.

Проведемо розрахунки приведення фактичної енергопотреби на опалення приміщення в системі з контролером та без нього за формулами (2.13), (2.14), а також визначимо фактичне споживання природного газу за приведеним теплоспоживанням. Розрахунки занесемо до таблиці 6.

Нормативні внутрішню та зовнішню середньомісячні температури визначаємо згідно [23]. Фактичні середньомісячні температури для опалювального періоду 2017/2018 рік визначаємо згідно [24], а фактичну внутрішню температуру в приміщені приймаємо 22 °С.

Необхідно зауважити, що значення фактичного споживання газу виражене без врахування витрати на ГВП, яке визначалось як середнє споживання природного газу в неопалювальний період.

Таблиця 2.6 – Приведена до нормативних умов фактичного теплоспоживання

Місяць	$G_{\text{Д}^{\text{норм}}}$	$G_{\text{Д}^{\text{факт}}}$	$Q_{\text{факт}}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{\text{пр}}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$V'_{\text{пр}}, \text{м}^3$
жовтень	11,9	14	464,91	395,18	57,8
листопад	18,1	19,1	834,11	790,44	115,6
грудень	22,5	20,5	957,18	1050,56	153,7
січень	24,7	24,4	1155,45	1169,66	171,1
лютий	23,6	25,9	1148,61	1046,61	153,1
березень	19	24,1	881,97	695,33	101,7

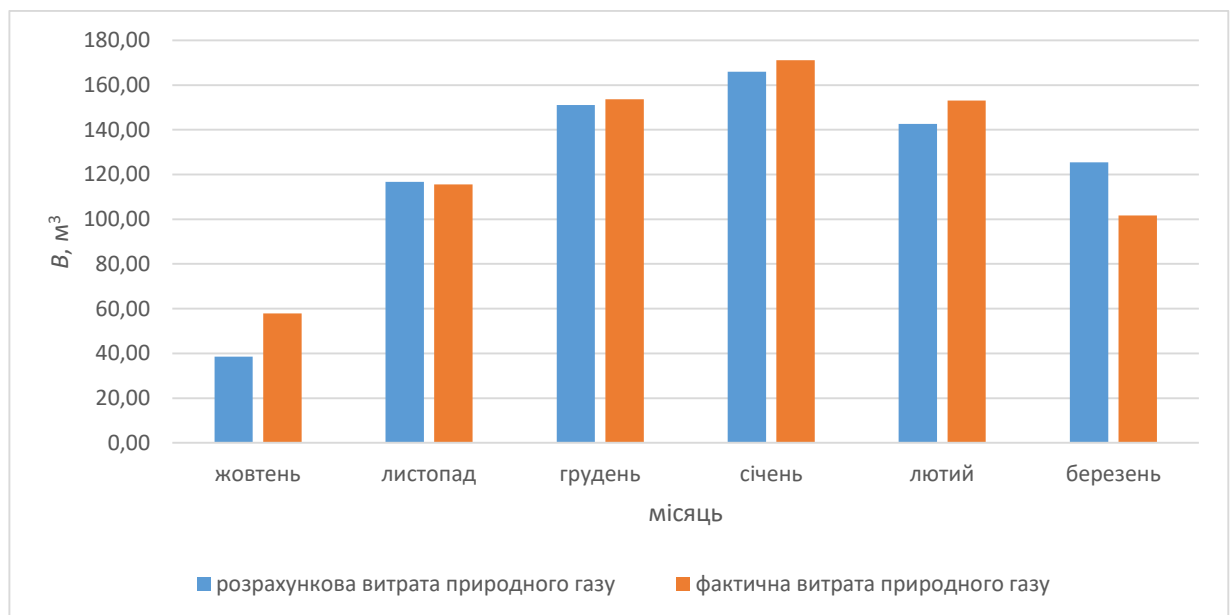


Рисунок 2.4 – Порівняльний аналіз фактичного та розрахованого значення витрати газу в опалювальний період

Як видно з рисунку 2.4 фактичне споживання майже відповідає розрахованому значенню витрати.

2.4 Дослідження зміни внутрішньої температури приміщень в системі опалення з регулюванням та без нього

Внутрішня температура повітря в приміщеннях є залежною величиною від ряду факторів. Вагомими факторами, які найбільш суттєво впливають на комфортні умови в приміщенні є зовнішня температура та рівень теплонадходжень включно з опаленням [11].

В період з 25.02 – 14.03 2019 року був проведений дослід, а саме вимірювання температури в приміщенні. Для цього на двох об'єктах дослідження було встановлено по 2 датчика температури (термохрон) в двох кімнатах, що знімали внутрішню температуру в приміщенні з кроком 30 хв. Було розглянуто системи опалення з встановленим регулятором температури та без регулювання.

Основною метою дослідження є аналіз зміни температури в приміщенні в залежності від графіку опалення (система з контролером) та залежність від температури навколишнього середовища (погодне регулювання за відсутності контролера.

Система регулювання температури в приміщенні дозволяє підтримувати задану користувачем температуру на одному рівні. Наприклад, коли користувач перебуває дома можна встановити бажану температуру на одному рівні та при бажанні змінювати її в залежності від комфортних умов для самого споживача, а за відсутності людей в приміщенні система працює по температурному графіку, що також задається споживачем. Такий графік можна встановити однаковий на тиждень та індивідуально для кожного дня.

Так на рисунок 2.5 та рисунок 2.6 показано як відбувається нагрів приміщення при встановленій температурі 21,2 °C.

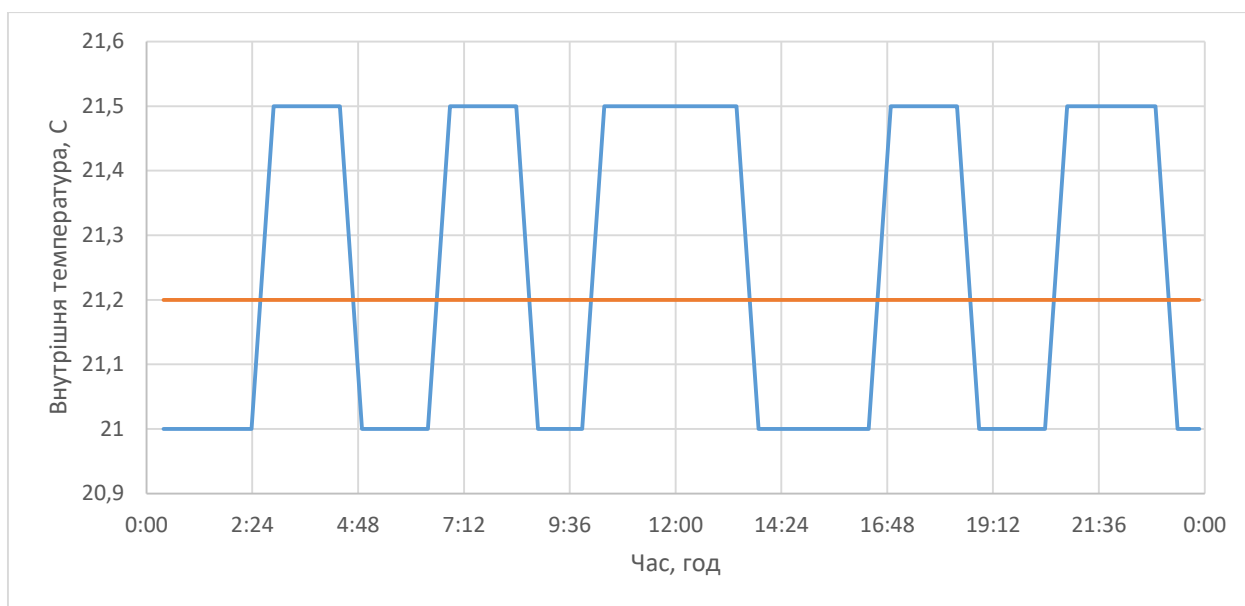


Рисунок 2.5 – 26.02.2019 Зміна температури в приміщенні при заданій постійній температурі в приміщенні (кімната 1)

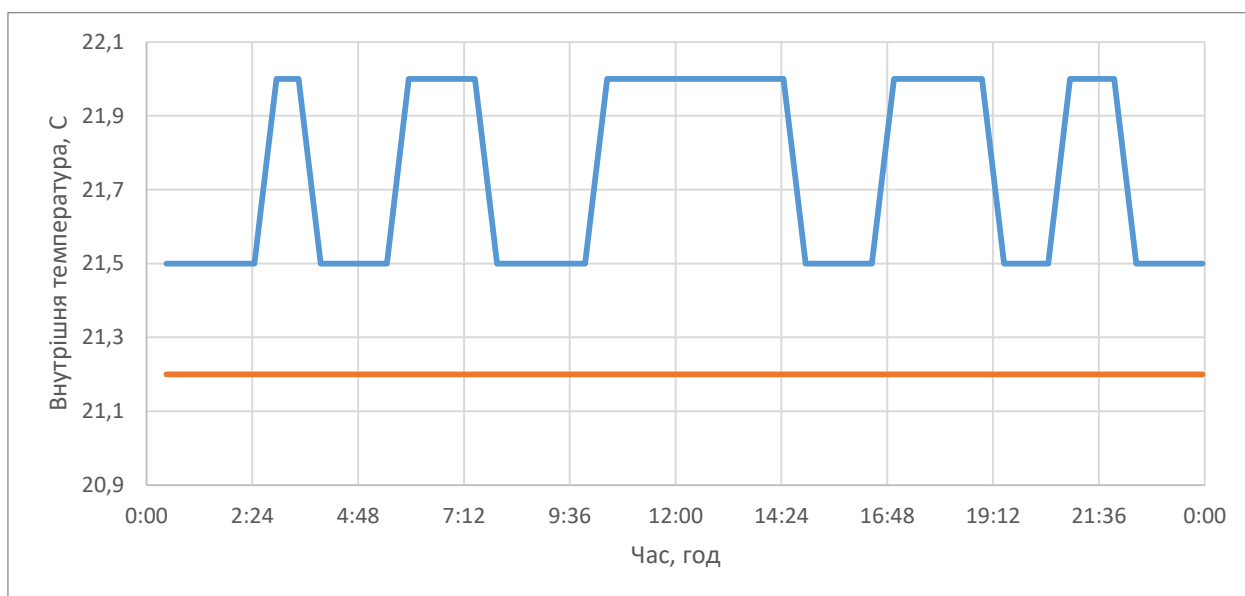


Рисунок 2.6 – 26.02.2019 Зміна температури в приміщенні при заданій постійній температурі в приміщенні (кімната 2)

Як видно з графіків вони мають більш рівний графік, система періодично включається та нагріває приміщення до необхідної температури 21,2 °C, проте нагріті радіатори продовжують процес тепловіддачі та нагрівають

температуру до $21,5^{\circ}\text{C}$. Це дозволяє приміщенню поступову охолоджуватись та підтримувати комфортну температуру для споживача.

При температурному графіку, система працює аналогічним чином, при досягненні необхідної температури система подає сигнал про припинення роботи котла.

На прикладі двох однакових об'єктів покажемо різницю відпрацювання системи з контролером та без нього.

Для дослідів був обраний найбільш ефективний для економії енергоресурсів графік опалення приміщення (рисунок 2.7).

В період з 00:00 до 6:00 температура в приміщенні має досягати $21,5^{\circ}\text{C}$, з 6:00 до 8:00 – $21,6^{\circ}\text{C}$, з 8:00 до 18:00 – 20°C , з 18:00 до 22:00 – $21,8^{\circ}\text{C}$, з 22:00 до 00:00 – $21,5^{\circ}\text{C}$. Таке пониження температури в приміщенні дозволяє значно зменшити енергоспоживання.

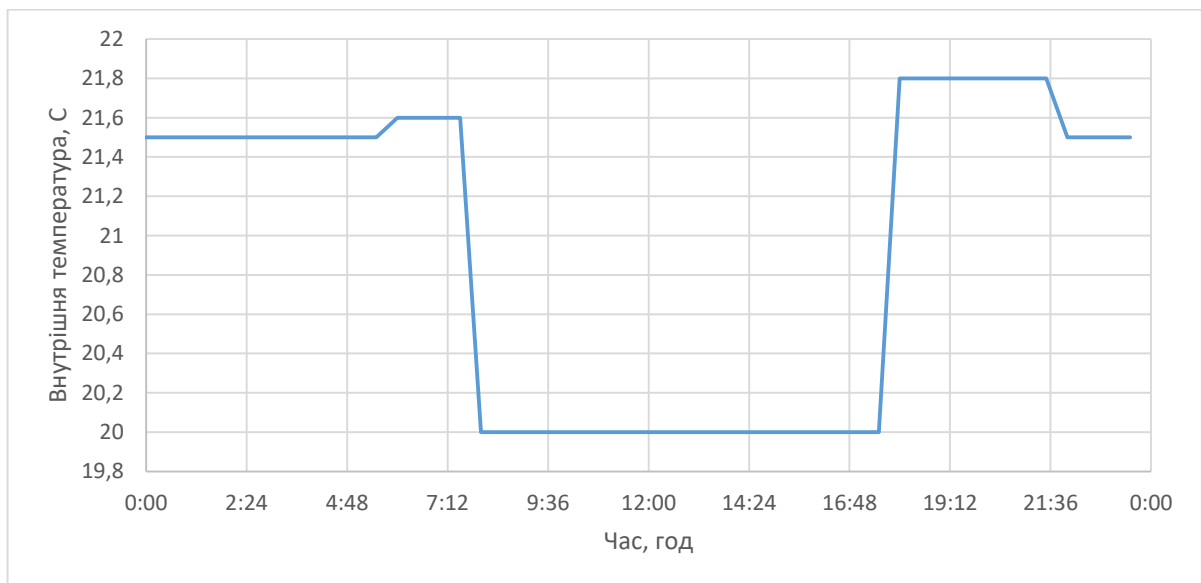


Рисунок 2.7 – Заданий температурний графік для переривчатого регулювання

Найхолодніша доба в період проведення дослідів – 3.03.2019. Тому порівняння нагріву приміщення для двох систем опалення проведемо саме для цієї доби.

Необхідно зауважити, що кімната 1 має меншу площу, а також це кімната в якій встановлений терморегулятор, а отже саме за температурою цієї кімнати датчик посилає сигнал про необхідність запуску котла.

Система опалення з регулюванням.

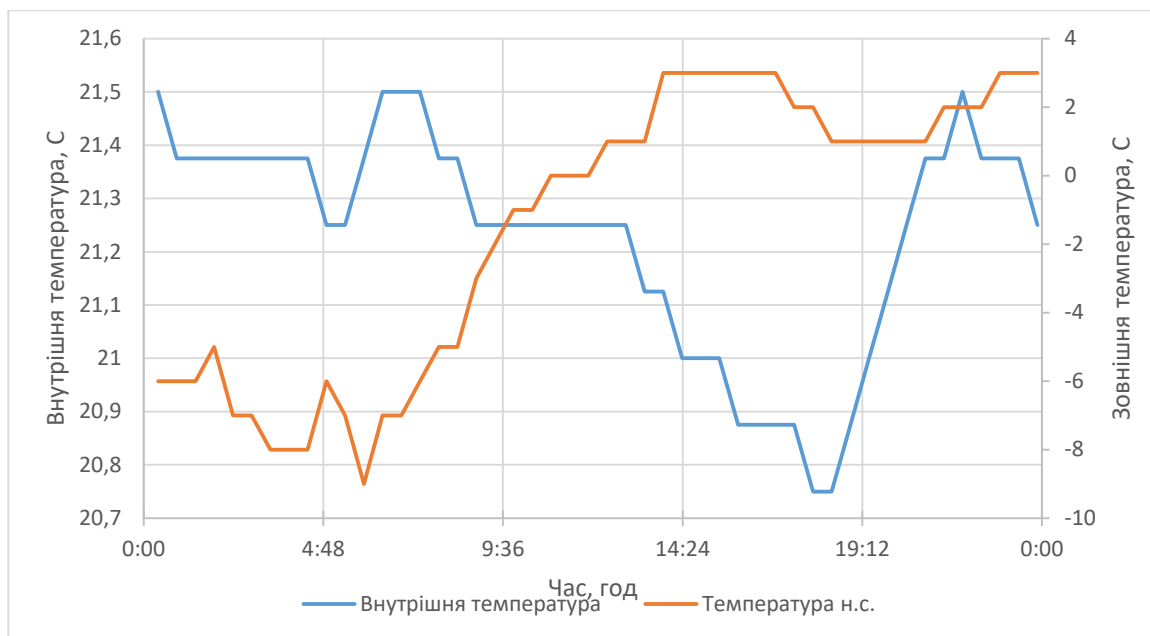


Рисунок 2.8 – 3.03.2019 Зміна температури в кімнаті 1

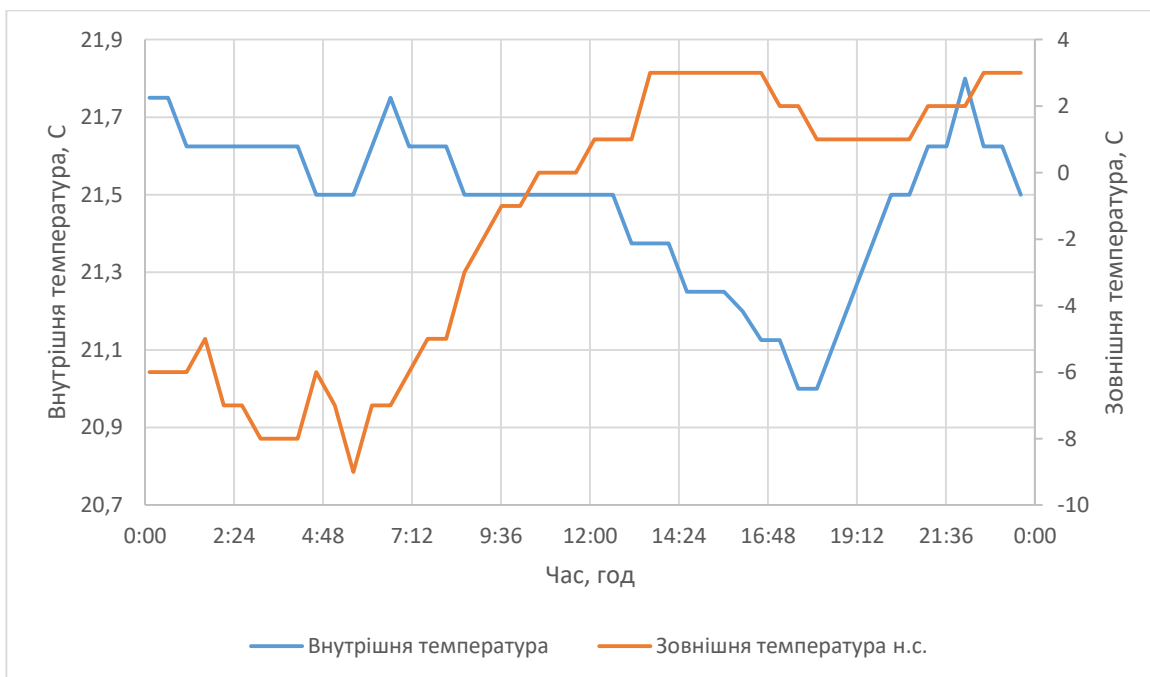


Рисунок 2.9 - 3.03.2019 Зміна температури в кімнаті 2

Як видно з рисунків 2.8 та 2.9 розподіл температур приміщенні відбувається згідно з графіком, також необхідно зауважити про відсутність високих перепадів температури.

Система опалення без регулювання

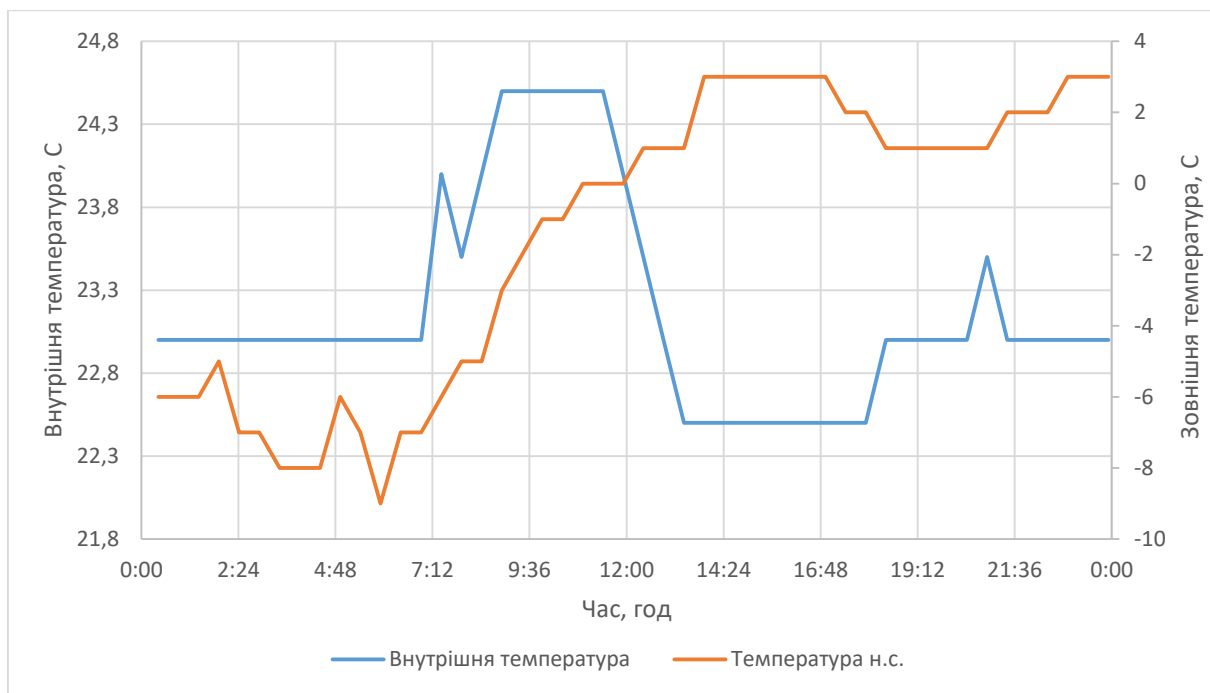


Рисунок 2.10 – 3.03.2019 Зміна температури в кімнаті 1

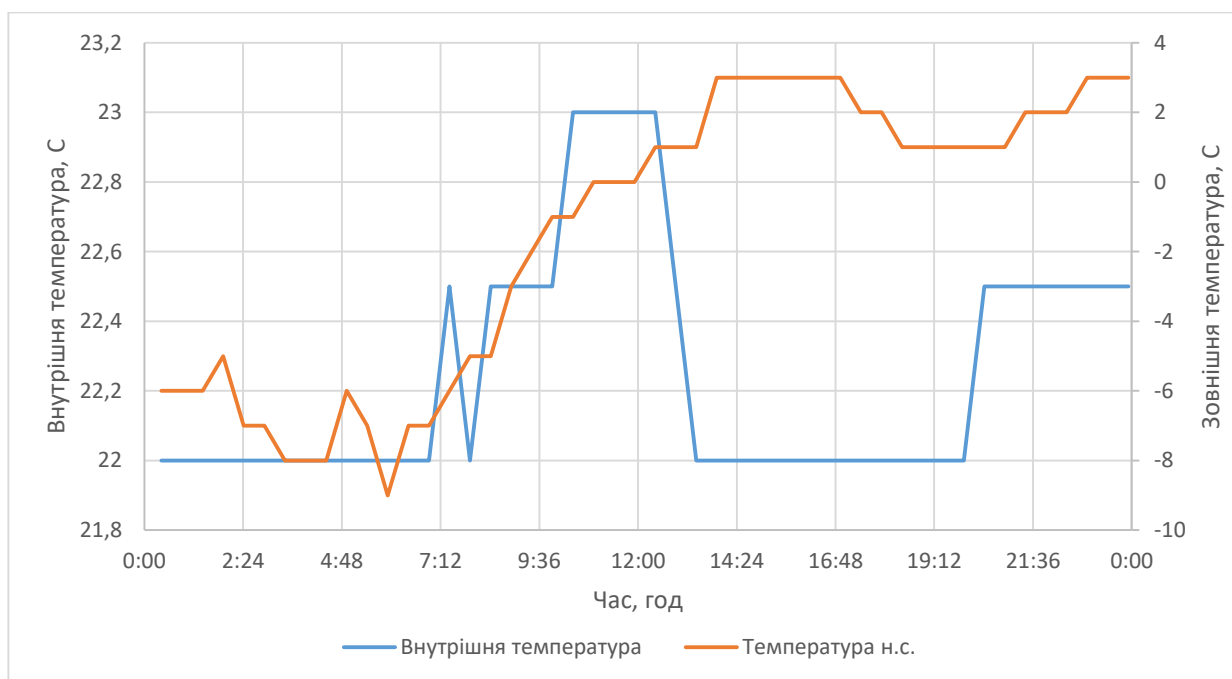


Рисунок 2.11 - 3.03.2019 Зміна температури в кімнаті 2

Система без регулювання (рисунок 2.10 та 2.11) є неоднорідною та має різкі перепади температури. Також з графіків видно що присутнє таке явище як «переопалення».

Висновки до розділу

Об'єктом дослідження є однокімнатна квартира в місті Київ загальною площею 48 м². Система опалення об'єкту – індивідуальна поквартирна з встановленим газовим котлом та контролером, що регулює температуру в приміщенні.

Енергопореба на опалення об'єкту складає 5061,25 кВт·год.

Фактичне споживання енергоресурсів відповідає розрахунковій витраті. Це означає, що в опалювальний період відсутнє явище «переопалення» та «недоопалення».

Розподіл температури в приміщенні здійснюється за температурним графіком. Як показав дослід в період з 8:00 до 18:00 температура в приміщенні зменшилась на 0,5 °С, охолодження було поступове. Це говорить про те, що квартира добре утеплена та довше зберігає тепло.

Проаналізувавши графіки системи без регулювання, можна зробити висновок, що механічне регулювання не є ефективним, оскільки присутні різкі перепади температур та явище «переопалення».

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РОЗПОДІЛУ В ПРИМІЩЕННІ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS

3.1 Постановка задачі та опис моделі дослідження.

Розподіл температури в приміщенні відіграє важливу роль в досягненні комфортних умов. Один з основних елементів систем опалення є опалювальний пристрій, призначений для передачі тепла від теплоносія в опалювальне приміщення. Потужність, а отже, і розміри опалювального приладу визначаються в результаті розрахунку теплового балансу теплоти, що враховує всі тепловтрати і теплонадходження в процесі експлуатації приміщення.

При розміщенні опалювального пристрою біля зовнішньої стіни, зростає температура внутрішньої поверхні в нижній частині цієї стіни, що підвищує тепловий комфорт приміщення. Потік теплого повітря при розташуванні приладу під вікном перешкоджає утворенню спадаючого потоку холодного повітря і руху повітря зі зниженою температурою у підлоги приміщення.

Ще однією важливою причиною установки опалювального приладу під світловим прорізом є запобігання утворенню конденсату на поверхні вікна. Конвективний тепловий потік, що утворюється над нагрітою поверхнею опалювального приладу, збільшує температуру на поверхні вікна, не даючи опуститися їй до температури точки роси.

Розрахунок опалювальних приладів проводиться виходячи з рівняння теплового балансу приміщення, яке відображає дефіцит або надлишок теплоти в приміщеннях будівлі. Основними складовими тепловтрат будівлі є втрати тепла через зовнішні огорожувальні конструкції, на нагрівання зовнішнього повітря, інфільтруючого через огорожувальні конструкції, а також на нагрівання повітря, що надходить внаслідок незбалансованої витяжної вентиляції.

Для моделювання температурного розподілу в приміщенні було обрано модель реальний об'єкт дослідження, що і в розділі 2, однокімнатну квартиру загальною площею 48 м². При моделюванні об'єкту можна наочно побачити як розподіляється температура в приміщенні, яка температура теплоносія найбільш доцільна для підтримання комфортних умов, як розподіляються теплові потоки в приміщенні та де знаходяться основні містки холоду.

Для точних результатів моделювання всі внутрішні та зовнішні огорожуючі конструкції були взяті в реальних величинах, всі матеріали стін, вікон та перекриття відповідають реальним та мають відповідні їм теплофізичні властивості.

Основною задачею моделювання є дослідження розподілу температури в приміщенні, а також показати:

1. Розподіл температури в приміщенні;
2. Розподіл теплових потоків в приміщенні;
3. Конвективний теплообмін від батареї;
4. Розподіл температури на поверхнях вікон в залежності від температури теплоносія;
5. Зміну температури поверхні скла та повітряного прошарку вікон в залежності від температури теплоносія.

3.2 Геометричне моделювання моделі та задання граничних умов.

Основні характеристики моделі:

- цегляна кладка на цементно-піщаному розчині товщиною $\delta=0,38$ м та теплопровідністю $\lambda=0,81$ Вт/(м·К);
- утеплювач екструдований пінополістирол товщиною $\delta=0,1$ м та теплопровідністю $\lambda=0,037$ Вт/(м·К);
- вікна розміром $2,3 \times 1,6$ м, двокамерний склопакет $\lambda=0,76$ Вт/(м·К);
- два алюмінієві радіатори розміром $0,5 \times 1,15$ м та товщиною 0,1 м;
- залізобетоне перекриття товщиною 0,22 м та $\lambda=2,04$ Вт/(м·К).

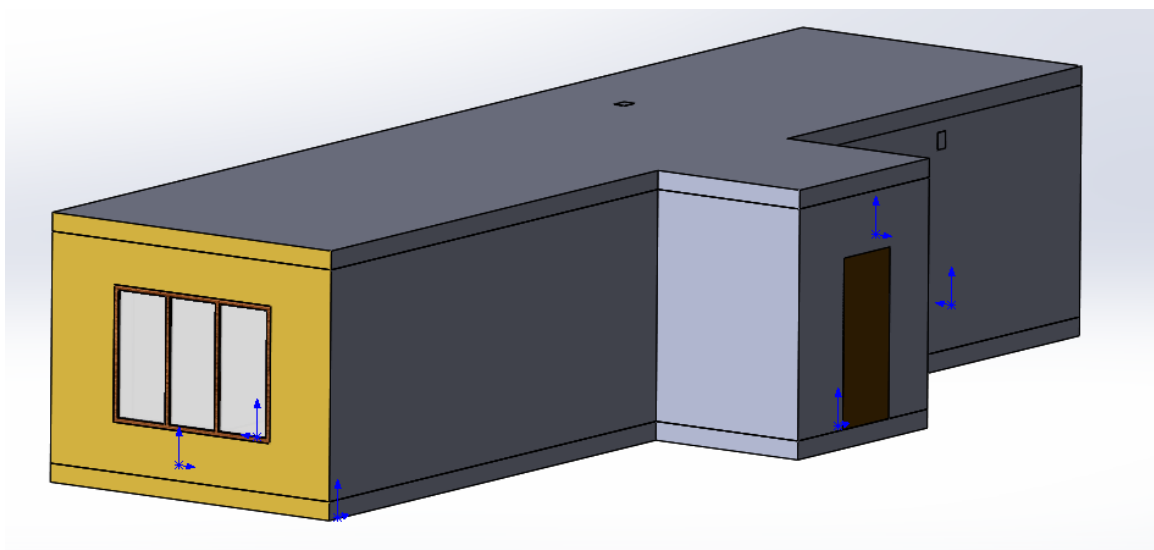


Рисунок 3.1 – Геометрична модель об'єкту моделювання

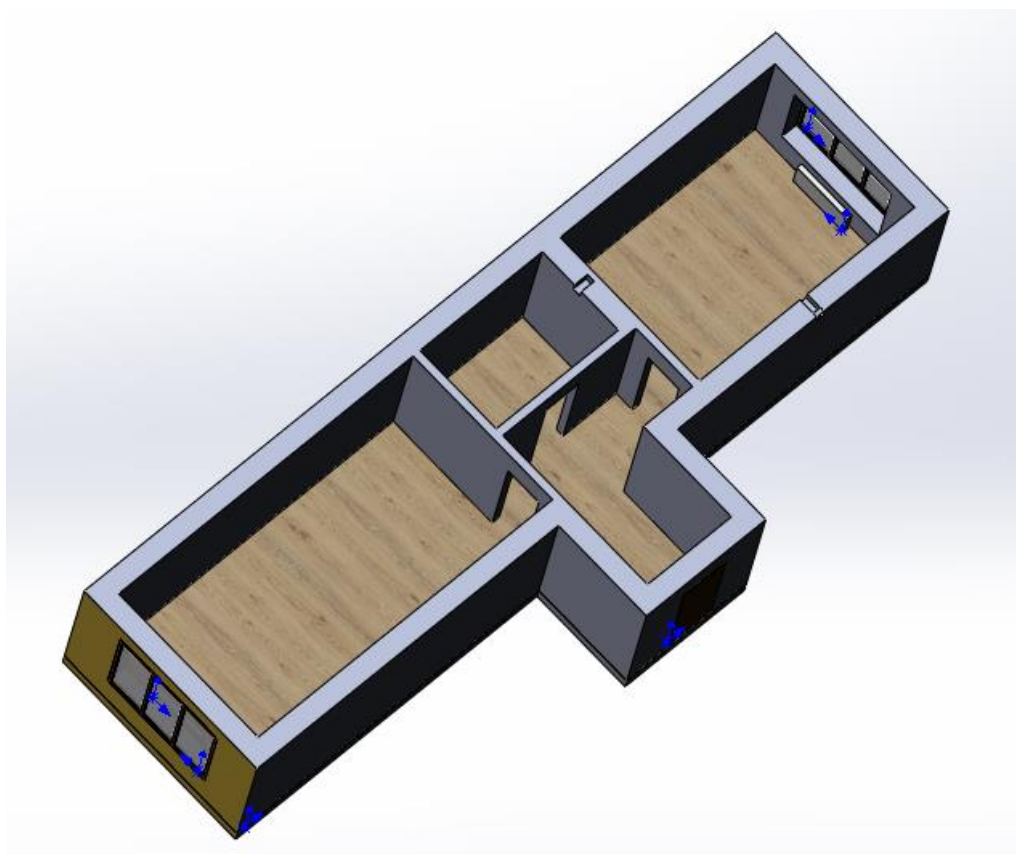


Рисунок 3.2 – Геометрична модель об'єкту в розрізі

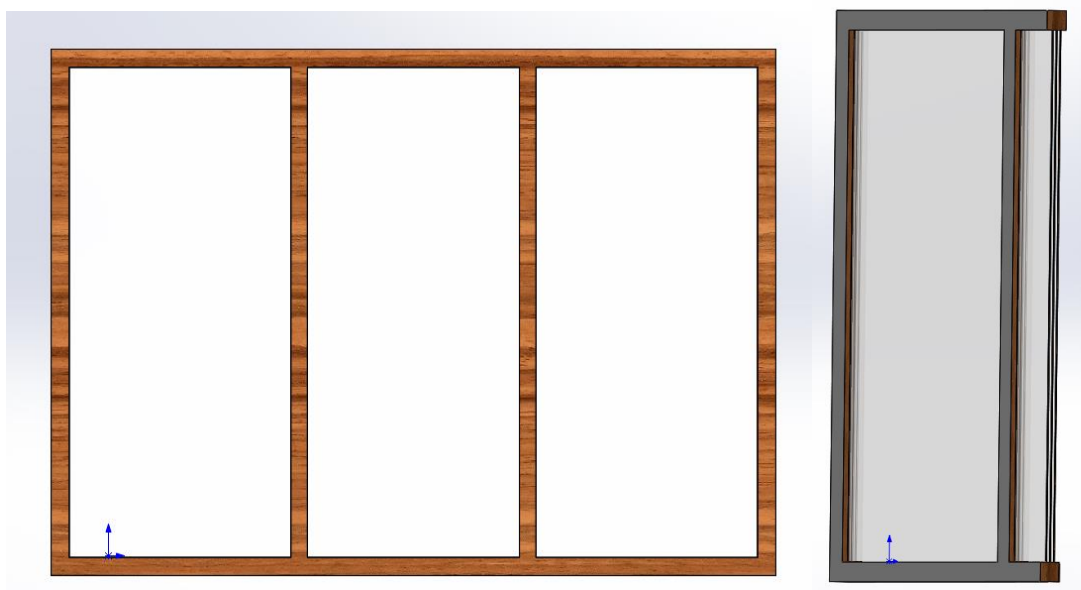


Рисунок 3.3 – Модель вікна та склопакету в розрізі

Граничні умови задаються в програмному пакеті SolidWorks Flow Simulation. Для проведення моделювання були задані наступні граничні умови (Рисунок 3.4):

1. Температура радіаторів (два дослідження) $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
2. Температура навколишнього середовища $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$;
3. Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішніх стін – $23\text{ Вт/ (м}^2\cdot\text{K)}$;
4. Температура стін та перекриття, що межують з іншими квартирами приймаємо $20,05\text{ }^{\circ}\text{C}$;
5. Врахування гравітації;
6. Врахування радіаційного теплообміну для всіх внутрішніх поверхонь;

Модель має два вентиляційних канали, тому була імітована природна вентиляція. Канал 1 має граничну умову тиск навколишнього середовища 101325 Па , канал 2 – об'ємну витрату $0,0004\text{ м}^3/\text{с}$.

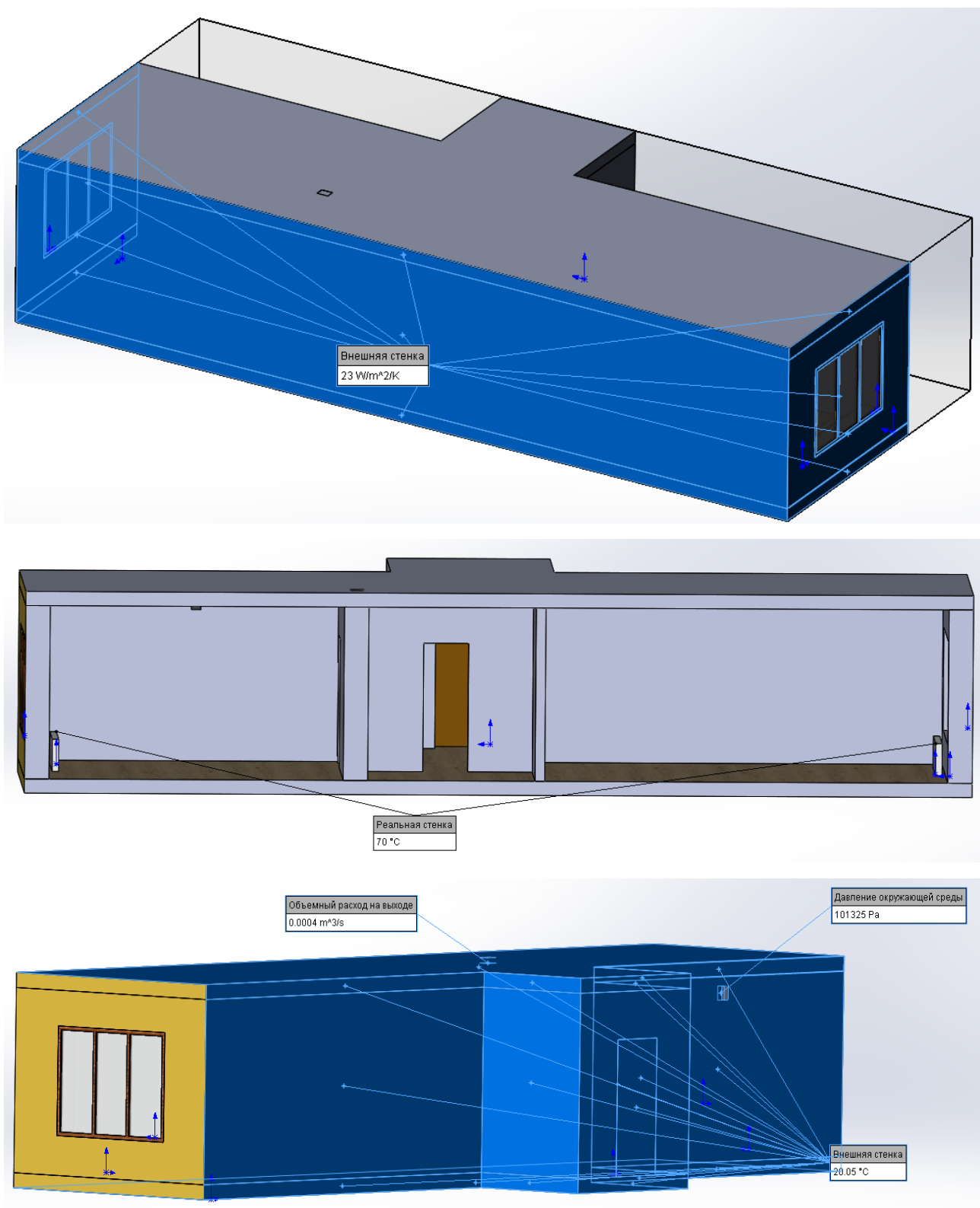


Рисунок 3.4 – Граничні умови, дослід 1

3.3 Результати моделювання.

Дослід 1 (температура опалювальних приладів 70 °С)

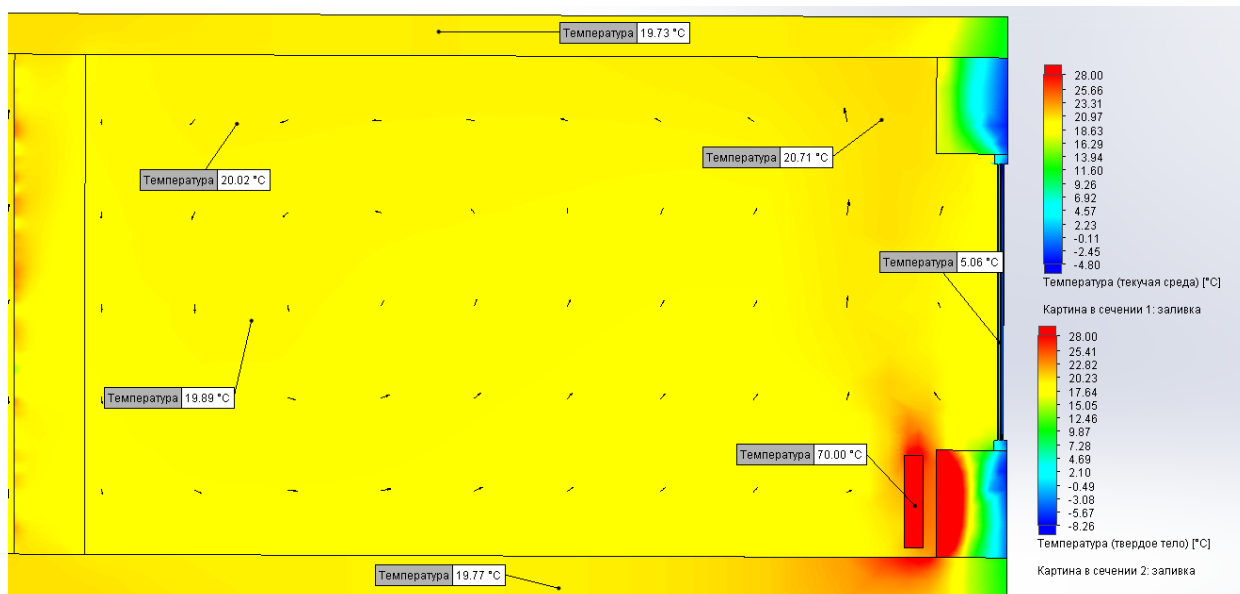


Рисунок 3.5 – Розподіл температури в кімнаті 1

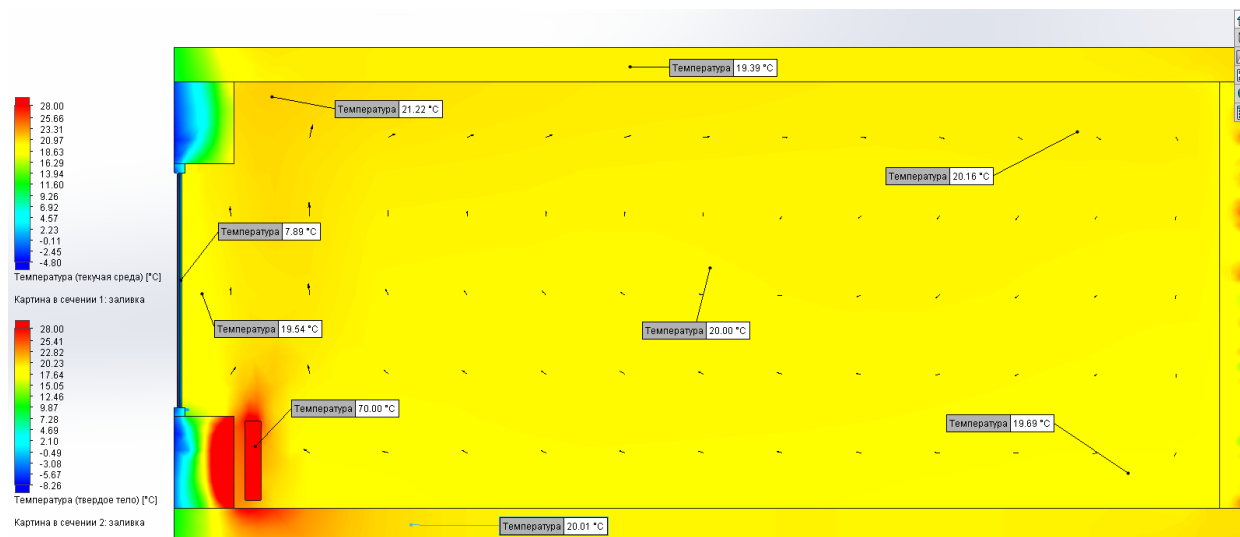


Рисунок 3.6 – Розподіл температури в кімнаті 2

Розподіл температури в приміщенні рівномірний, середня температура в приміщенні 20 °С. Радіатор температурою 70 °С створює конвективний

тепловий потік, який піднімається в гору, тим самим нагріваючи поверхню вікна та створює бар'єр надходження холодного повітря в приміщення.

Радіаційний теплообмін від батареї нагріває суміжну з батареєю зовнішню стінку до 30 °С.

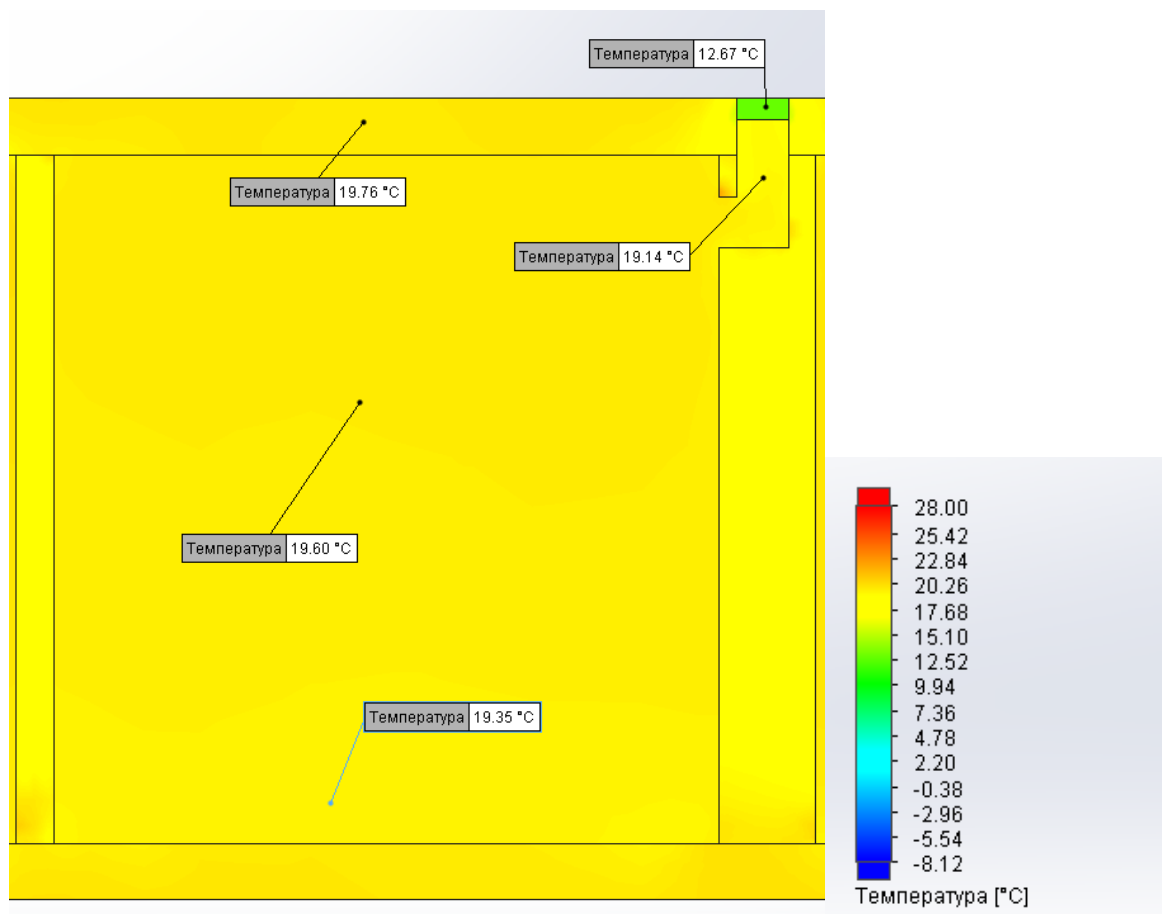


Рисунок 3.7 – Розподіл температури в ванній кімнаті (розріз через вентиляційний канал)

Середня температура в ванній кімнаті 19,5 °С, тепле повітря виходить через вентиляційний канал.

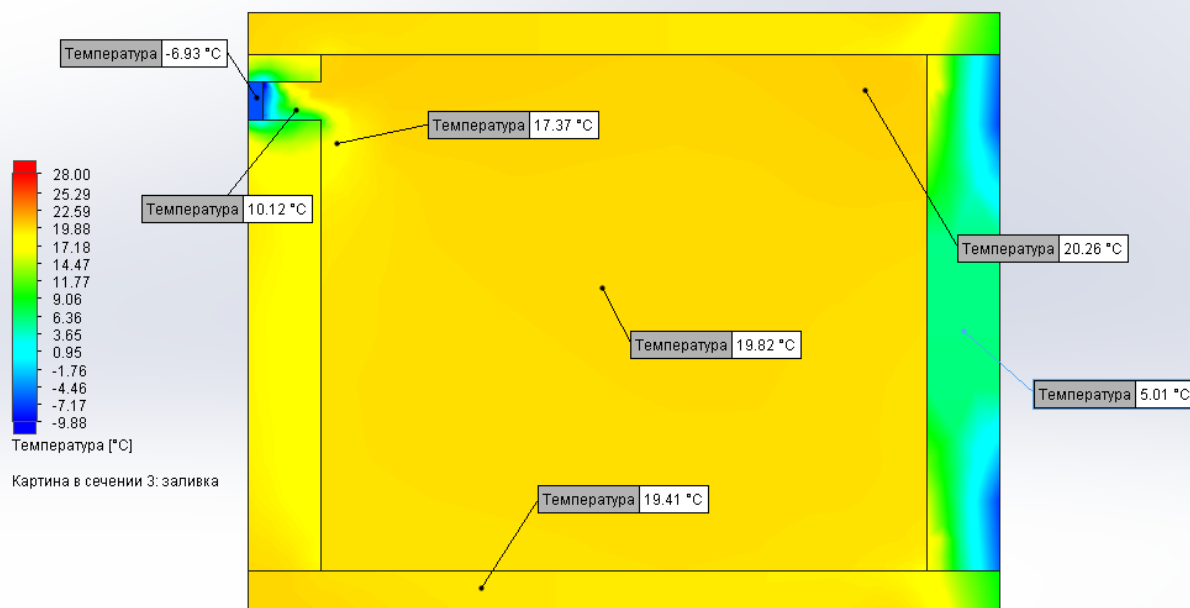


Рисунок 3.8 – Розподіл температури в кімнаті 1 (вертикальний розріз через вентиляційний канал)

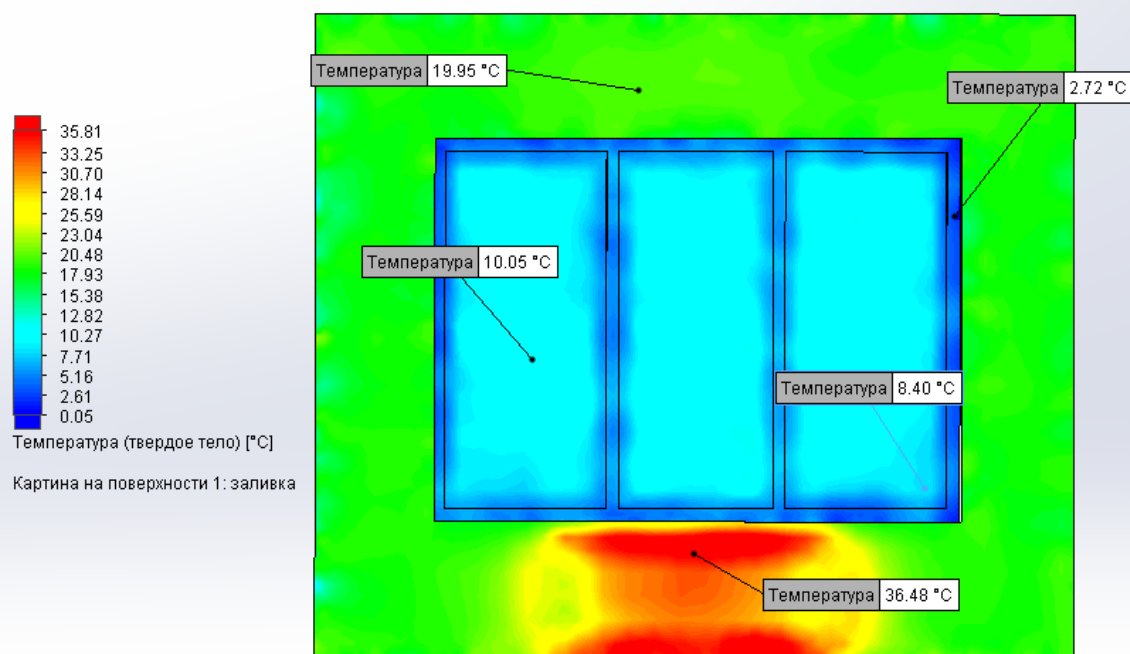


Рисунок 3.9 – Розподіл температури на поверхні стіни та вікна в кімнаті 1

Як видно з рисунка 3.9 радіатор нагрів суміжну з ним стінку до 36 °С, температура скління в середньому 10 °С.

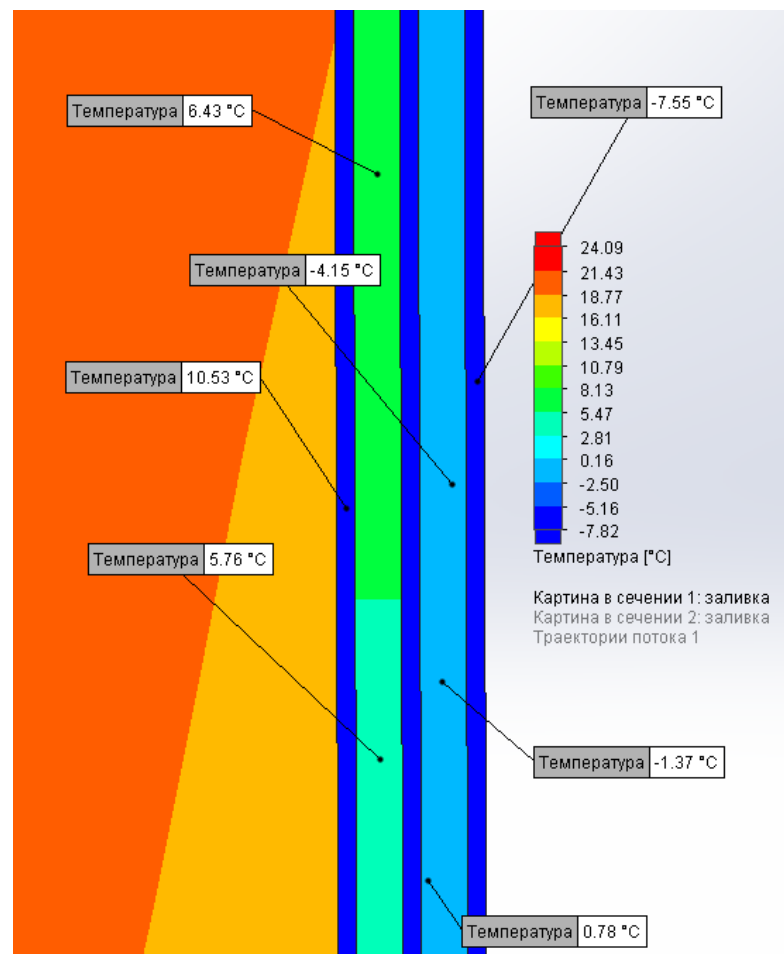


Рисунок 3.10 – Розподіл температури на розрізі склопакету

На рисунку 3.10 показаний розподіл температури повітряного прошарку між склінням та температуру скла. Як видно з рисунку температура повітря є неоднорідною, в першому шарі скління ближче до навколишнього середовища присутня від’ємна температура, проте чим ближче до опалювального приміщення тим вища температура повітря та скління.

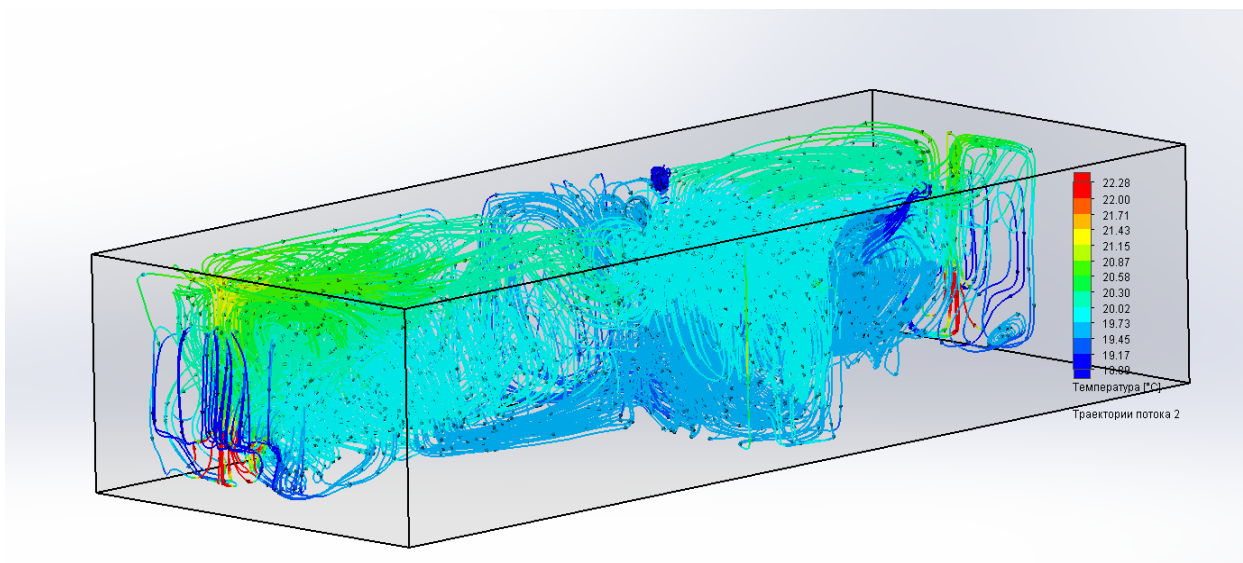


Рисунок 3.11 – Розподіл повітряних потоків об'єкту

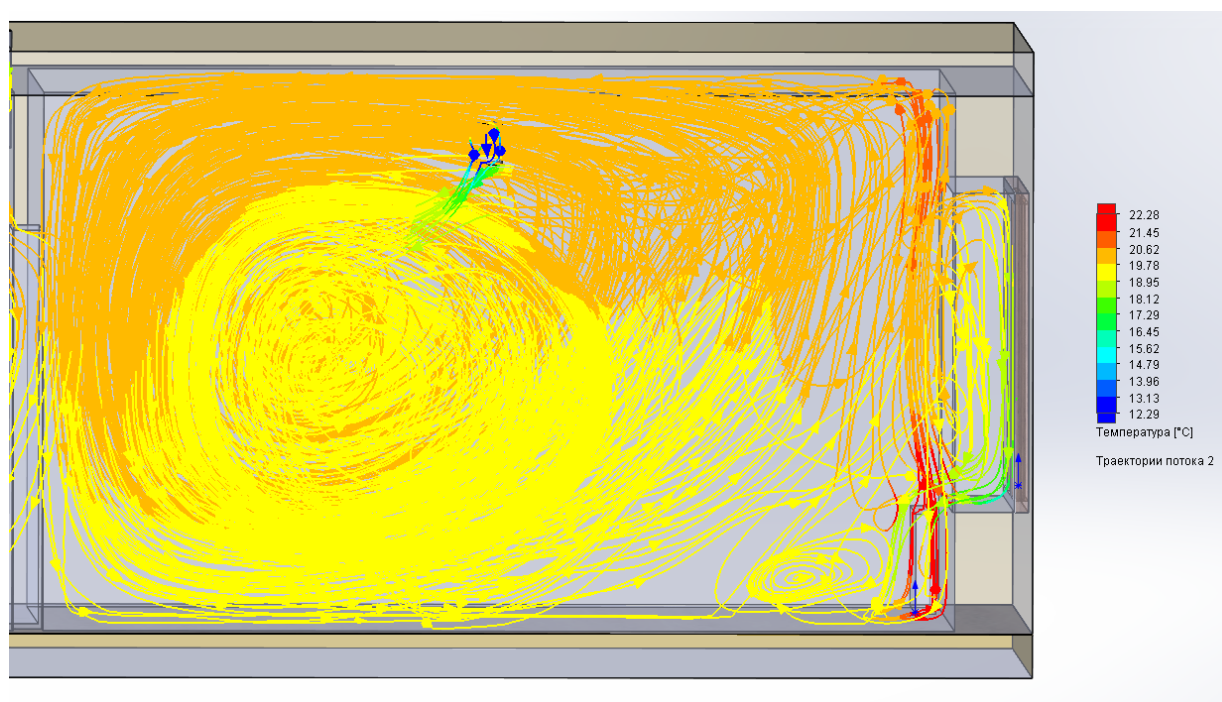


Рисунок 3.12 – Розподіл повітряних потоків кімната 1

Як видно з розподілу теплових потоків в кімнаті 1 більшість теплого повітря зосереджено у верхній частині кімнати, також видно конвективний тепловий потік від радіатора.

Дослід 2 (температура опалювальних приладів 60 °C)

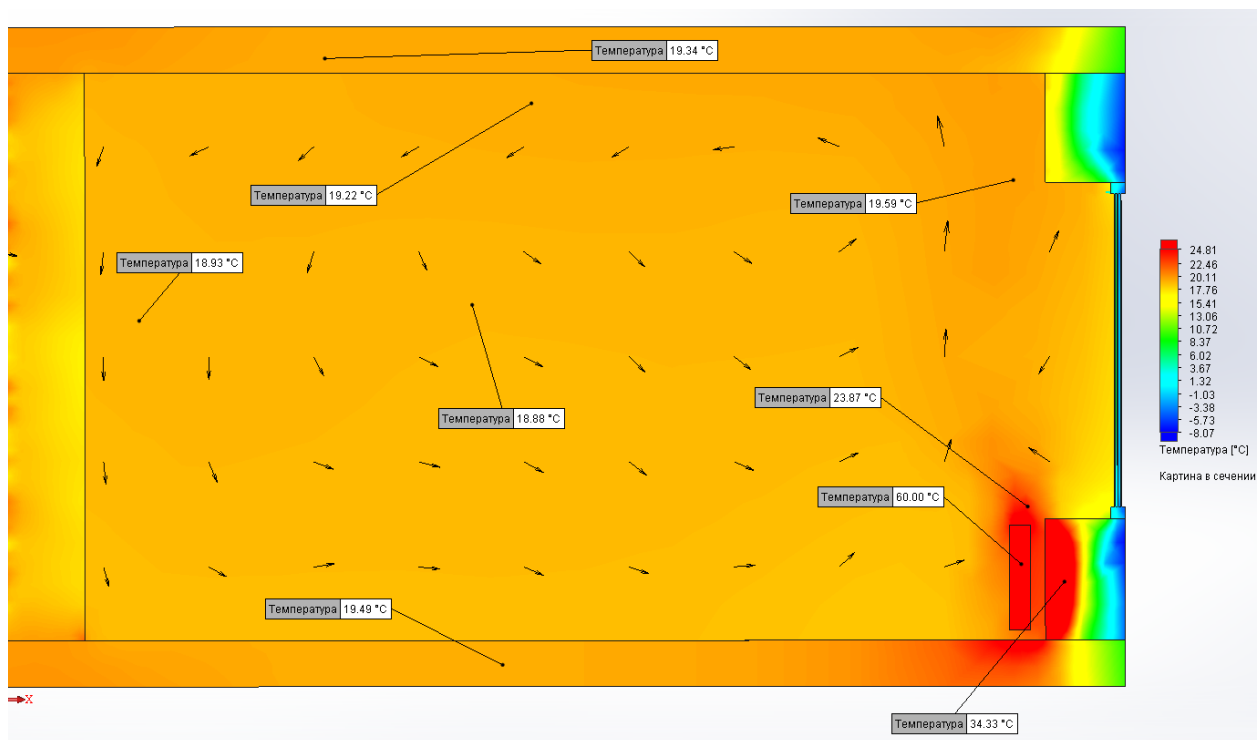


Рисунок 3.13 – Розподіл температури в кімнаті 1

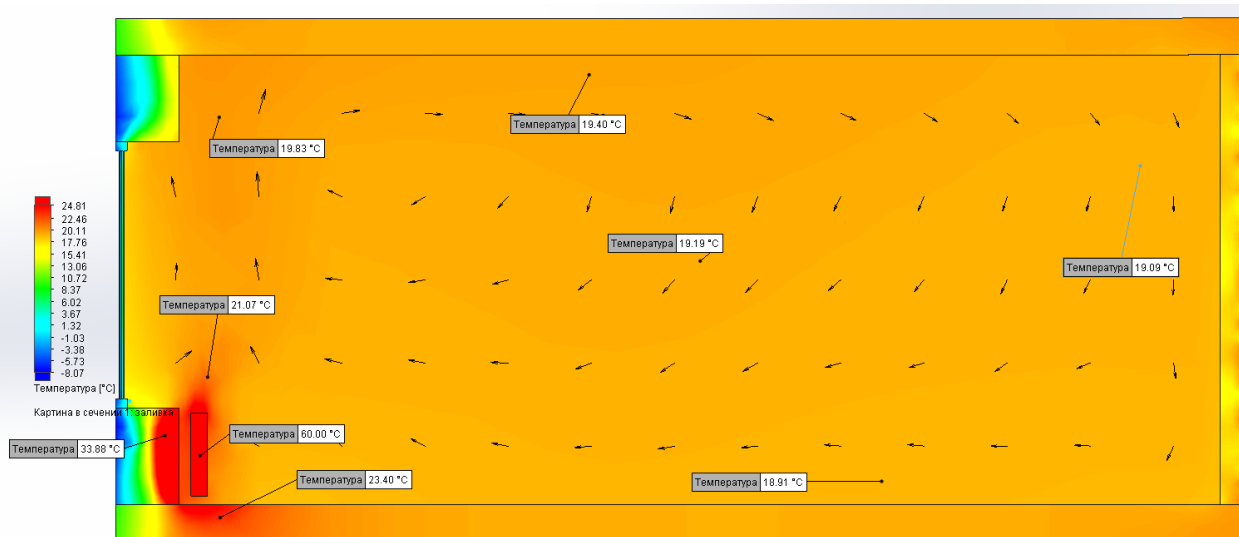


Рисунок 3.14 – Розподіл температури в кімнаті 2

Розподіл температури в приміщенні рівномірний, середня температура в приміщенні 19 °C. Радіатор температурою 60 °C створює конвективний

тепловий потік, який піднімається в гору, тим самим нагріваючи поверхню вікна та створює бар'єр надходження холодного повітря в приміщення.

Радіаційний теплообмін від батареї нагріває суміжну з батареєю зовнішню стінку до 30 °С.

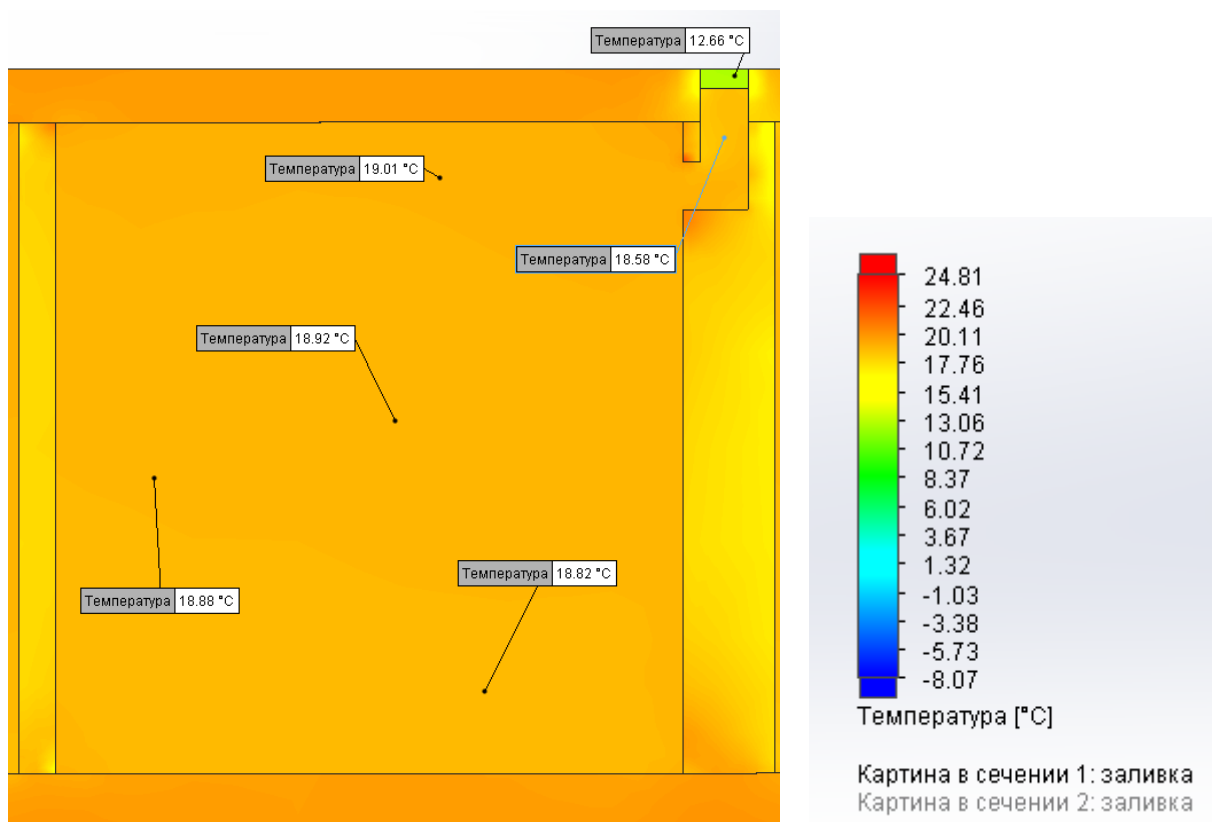


Рисунок 3.15 – Розподіл температури в ванній кімнаті (розріз через вентиляційний канал)

Середня температура в ванній кімнаті 18,5 °С, тепле повітря виходить через вентиляційний канал.

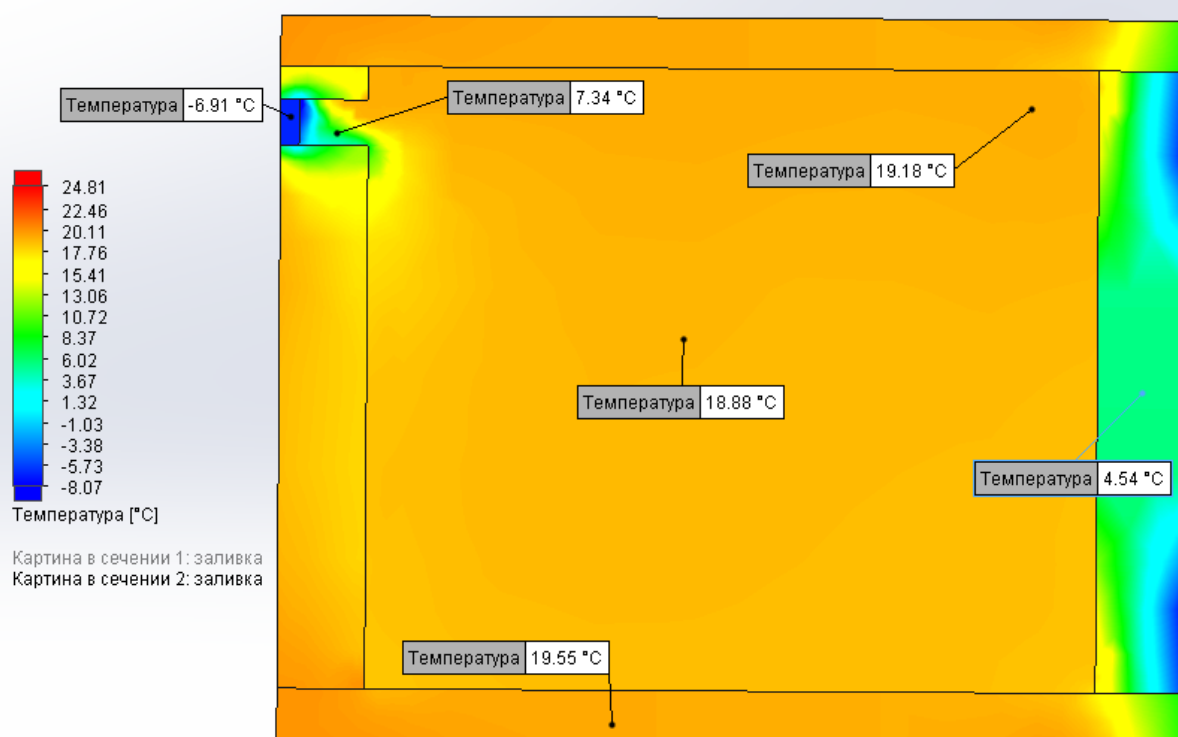


Рисунок 3.16 – Розподіл температури в кімнаті 1 (вертикальний розріз через вентиляційний канал)

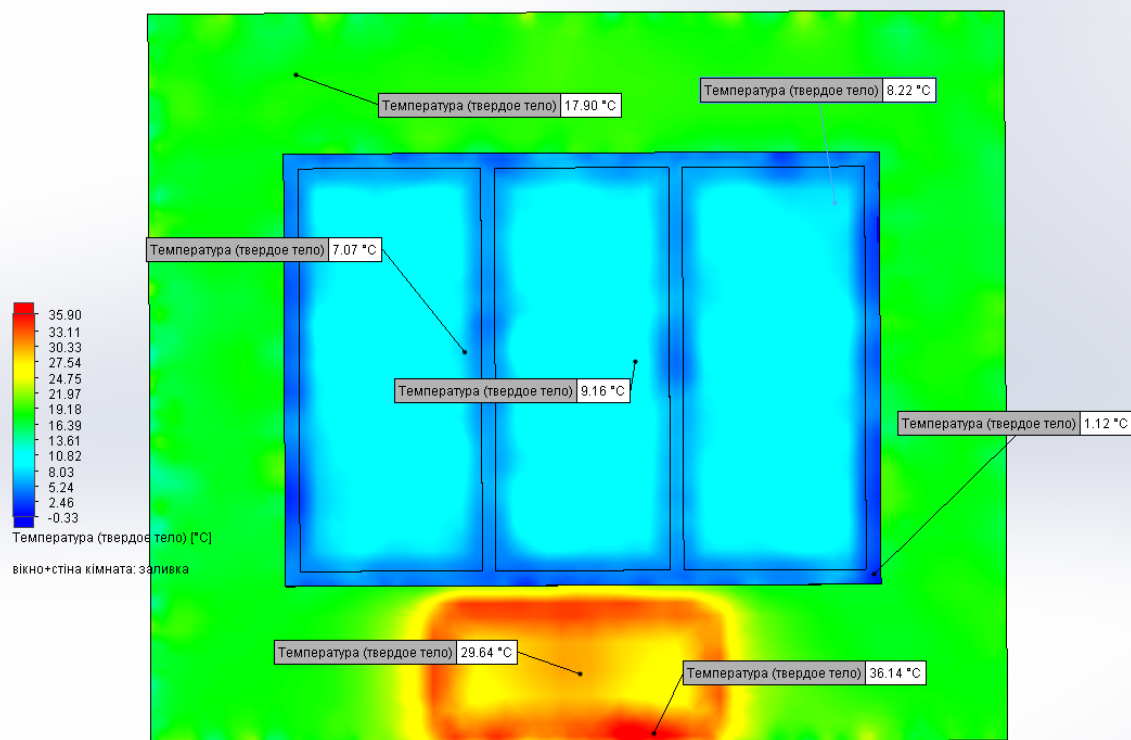


Рисунок 3.17 – Розподіл температури на поверхні стіни та вікна в кімнаті 1

Як видно з рисунка 3.9 радіатор нагрів суміжну з ним стінку до 36 °С, температура скління в середньому 10 °С.

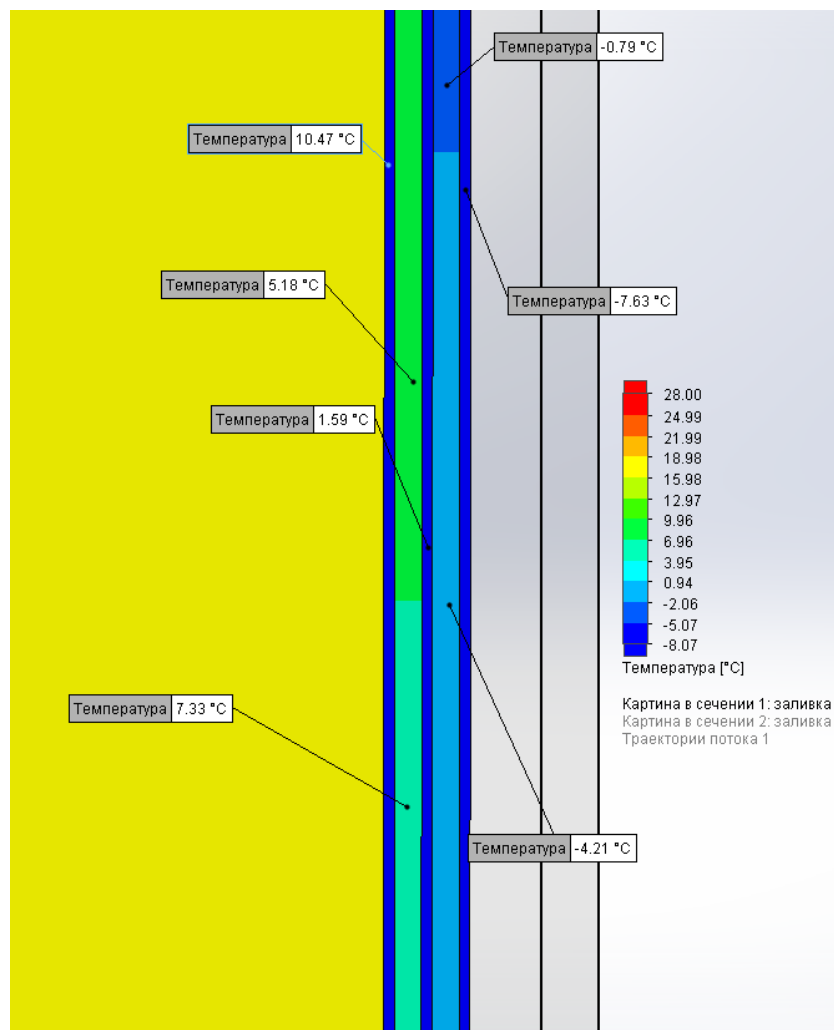


Рисунок 3.18 – Розподіл температури на розрізі склопакету

На рисунку 3.10 показаний розподіл температури повітряного прошарку між склінням та температуру скла. Як видно з рисунку температура повітря є неоднорідною, в першому шарі скління ближче до навколишнього середовища присутня від’ємна температура, проте чим ближче до опалювального приміщення тим вища температура повітря та скління.

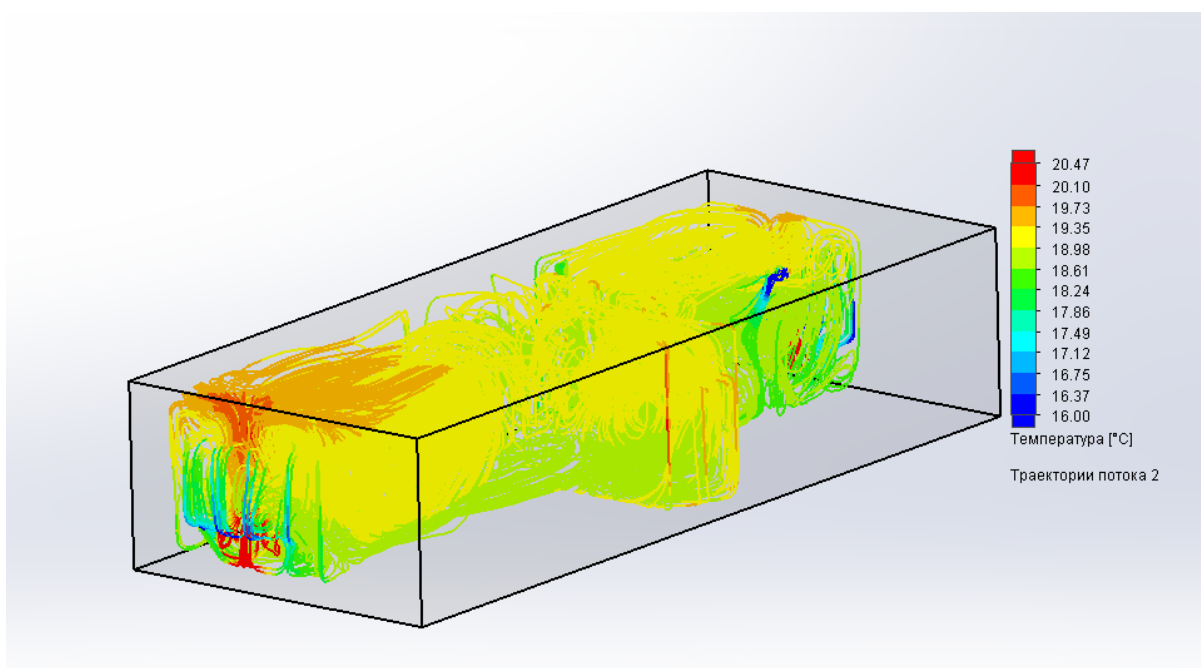


Рисунок 3.19 – Розподіл повітряних потоків об'єкту

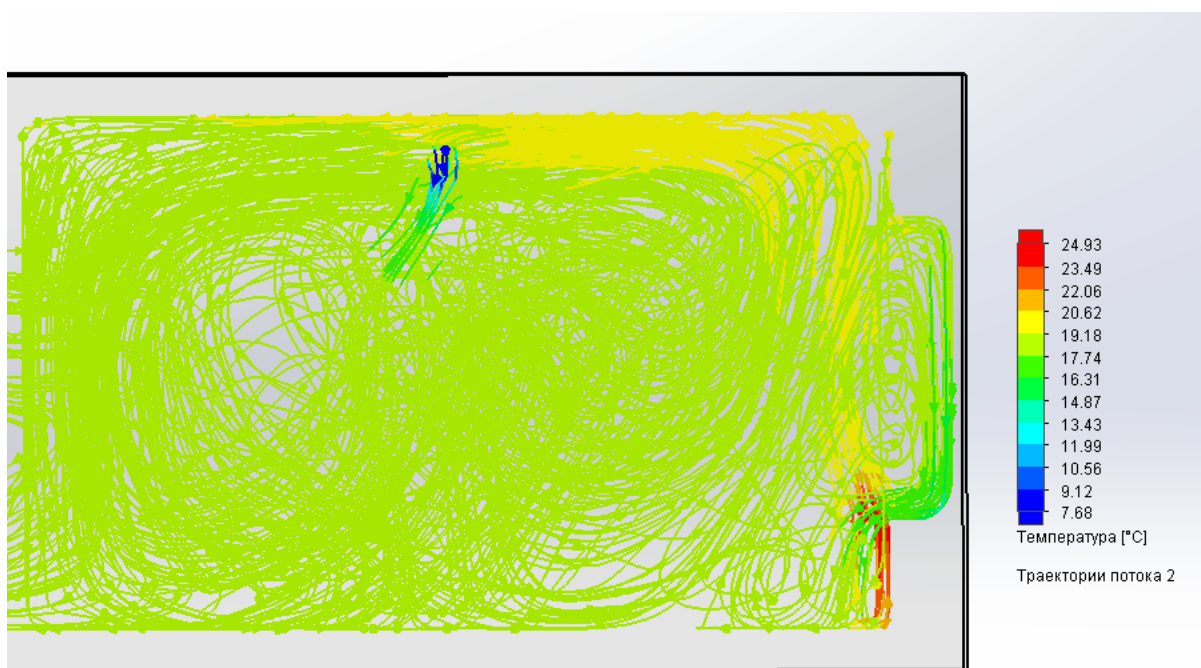


Рисунок 3.20 – Розподіл повітряних потоків кімната 1

Як видно з розподілу теплових потоків в кімнаті 1 більшість теплового повітря зосереджено у верхній частині кімнати, також видно конвективний тепловий потік від радіатора.

Висновки до розділу

В даному розділі було проведено моделювання опалювального приміщення, а саме однокімнатну квартиру, загальною площею 48 м².

В ході моделювання було проведено два дослідів (опалення з температурою теплоносія 70 °С та 60 °С), які показали, що розподіл температури в приміщенні рівномірний, конвективний тепловий потік від батареї піднімається в верхню частину кімнати, тим самим нагріваючи поверхню вікна. Даний прогрів створює бар'єр для надходження холодного повітря в приміщення, а також забезпечує відсутність конденсату на вікнах.

Також необхідно зауважити про нагрів суміжної стінки з батареєю, яка нагрілась до 30 °С за допомогою радіаційного теплообміну від батареї. Аби зменшити нагрівання стінки можна поставити світловідбиваючу пластинку, тоді все тепло яке йшло на нагрів стінки піде на нагрів повітря в кімнату.

Середня температура в приміщенні при радіаторі 70 °С складає 20 °С , а при 60 °С - 18 °С.

В системі регулювання температури в приміщенні важливо щоб кімната прогрівалась швидко, а тому і температура теплоносія має бути висока. Як показало моделювання, дійсно при високій температурі батареї 70 °С , кімната досягла більш комфортних умов.

4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННІ З П-, ПІ-, ПІД-РЕГУЛЯТОРАМИ

4.1 Опис систем регулювання

Основною задачею регулювання температури в приміщенні є максимально плавно та наближено повторити заданий температурний графік. Для будь якої механічної системи регулювання це досить важко відтворити. З цією задачею справляються автоматизовані системи регулювання на базі П-, ПІ-, ПІД-регуляторів.

Пропорційні регулятори.

Пропорційні регулятори (П-регулятори) мають один параметр налаштування – коефіцієнт передачі k_p .

Перехідні процеси в П-регуляторі описують виразом:

$$\mu = k_p \cdot \varepsilon \quad (4.1)$$

де ε - вхідний вплив на регулятор, рівний відхиленню регульованої величини від заданого впливу;

μ - керуючий вплив регулятора на об'єкт, спрямований на ліквідацію відхилення регульованої величини від заданого значення.

У випадку системи опалення задане значення - це необхідна величина температури в приміщенні в заданий час; відхилення ε - різниця між необхідною температурою в приміщенні і її значенням, виміряне датчиком температури.

Діапазон зміни вихідного сигналу регулятора (ΔU) називається діапазоном регулювання. Діапазон зміни сигналу помилки ($\Delta \varepsilon$) називають пропорційним діапазоном.

В П-регуляторах змінюють як діапазон регулювання, так і пропорційний діапазон

Величина $k_p = \Delta U / \Delta \varepsilon$ є коефіцієнтом регулювання. При великих значеннях k_p в контурі регулювання можуть виникати коливання (Рисунок 4.1)

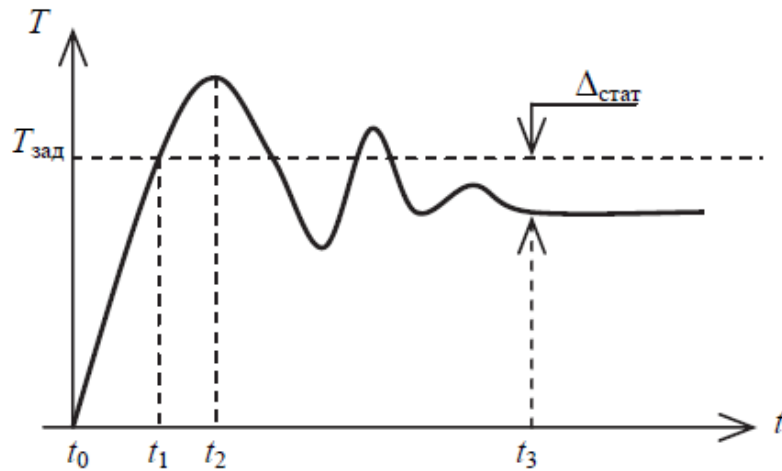


Рисунок 4.1 – Перехідний процес при П-регулюванні

Наприклад, якщо під час включення системи температура в приміщенні $T_{\text{вим}}$ нижче заданої $T_{\text{зад}}$, САР видає великий сигнал на відкриття термодіафрагми. Температура в приміщенні почне підвищуватися. Коли вона досягне $T_{\text{зад}}$, пристрій управління видає команду на закриття термодіафрагми. Однак через те, що батарея розігріта, температура в приміщенні до моменту t_2 буде рости, а потім почне знижуватися. Цей процес має вид затухаючих коливань, і через певний час t_3 процес стабілізується.

Після стабілізації через інерційності системи завжди буде існувати статична помилка $\Delta_{\text{ст}} = T_{\text{зад}} - T_{\text{вим}}$.

Сигнал на виході пристрою управління буде мати вигляд $y(t) = U_0 + k_p \cdot \varepsilon$, де U_0 - сигнал на виході пристрою управління при $\varepsilon = 0$.

Чим більшим обраний пропорційний діапазон регулювання, тим меншим буде значення k_p і тим більшою буде величина статичної помилки. Якщо $k_p > 10$, то П-регулятор прийнятний за величиною статистичної помилки і забезпечує високу швидкодію.

При цифровій реалізації П-закону регулювання:

$$Y_i = k_p \cdot \varepsilon \cdot 100\%.$$

Поза полосою пропорційності вихідний сигнал рівен нулю або 100%.

Пропорційно-інтегральні регулятори.

Статичну помилку, що виникає при пропорційному регулювання, можна виключити, якщо ввести ще і інтегральну ланку.

ПІ-регулятор впливає на регулюючий орган пропорційно відхиленню і інтеграла від відхилення регульованої величини:

$$\mu = k_p \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt, \quad (4.2)$$

де T_i - постійна інтегрування, параметр настройки регулятора.

При стрибкоподібній зміні регульованої величини на значення ε_0 ПІ-регулятор зі швидкістю, яка визначається швидкодією приводу, переміщує виконавчий механізм на величину (k_p, ε_0) , після чого додатково переміщує виконавчий механізм зі швидкістю ε_0 / T_i .

Отже, в ПІ-регуляторі при відхиленні температури в приміщенні від заданого значення миттєво спрацьовує пропорційна (статична) складова регулятора, а потім поступово збільшується інтегральна (астатична) складова.

Основними перевагами ПІ-регулятора є:

- простота налаштування (два параметра k_p, T_i) і можливість оптимізації величини $k_p / T_i \rightarrow \min$, що забезпечує управління з мінімально можливою середньоквадратичною помилкою регулювання;
- мала чутливість до шумів в каналі виміру.

При цифровій реалізації ПІ-закону регулювання:

$$Y_i = \left[k_p \cdot \varepsilon_i + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^n \varepsilon_i \Delta t_{\text{вим}} \right] \cdot 100\%$$

де $\sum \varepsilon_i$ – накопичена в i -й момент часу сума неузгоджень.

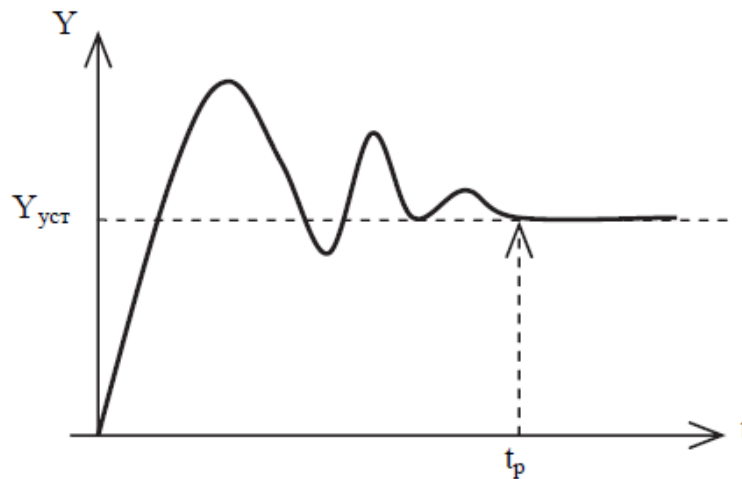


Рисунок 4.2 – Перехідний процес при ПІ-регулюванні.

Пропорційно-інтегрельно-дифференціальні регулятори.

У системах автоматичного регулювання виникає необхідність в регуляторі, який виробляв би додатковий регулюючий вплив, пропорційний швидкості відхилення регульованої величини від заданого значення:

$$\mu_d = T_d d\varepsilon/dt.$$

ПД-регулятори впливають на об'єкт управління пропорційно відхиленню регульованої величини, інтегралу від цього відхилення і швидкості зміни регульованої величини:

$$\mu = k_p \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (17)$$

По можливостях ПД-регулятори є універсальними. Використовуючи їх, можна отримати будь-який закон регулювання.

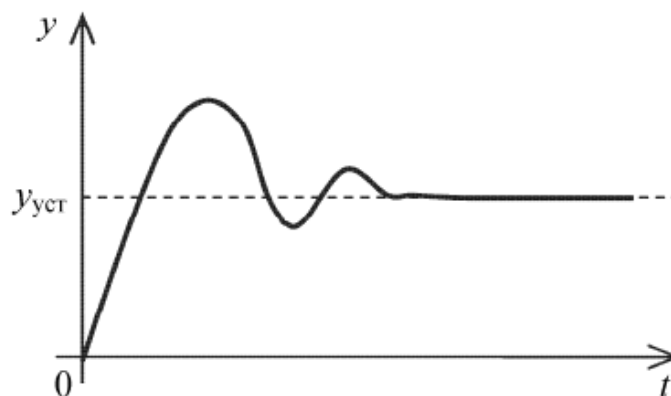


Рисунок 4.3 – Перехідний процес при ПД-регулюванні.

При стрибкоподібній зміні регульованої величини ПД-регулятор в початковий момент часу надає миттєве нескінченно більший вплив на об'єкт регулювання, потім величина впливу різко падає до значення, що визначається пропорційною складовою, після чого постійно починає впливати інтегральна складова регулятора.

Перехідний процес в ПД-регуляторах (Рисунок 4.3) має мінімальні відхилення по амплітуді і по часу в порівнянні з П- і ПІ- регуляторами.

Параметрами налаштування ПД-регулятора є коефіцієнт пропорційності регулятора k_p , постійна часу інтегрування T_i і постійна часу диференціювання T_d .

Зі збільшенням запізнювання в системі різко зростають негативні фазові зрушення, що знижує ефект диференціальної складової регулятора.

Крім того, наявність шумів в каналі вимірювання в системі з ПД-регулятором призводить до значних випадкових коливань сигналу регулятора, що збільшує дисперсію помилки регулювання і знос виконавчого механізму.

ПД-регулятори дозволяють забезпечити для систем регулювання температури гарну якість регулювання: неузгодженість регулювання менше 1% від заданої точки, досить малий час виходу на режим і невисоку чутливість до зовнішніх збурень.

Слід мати на увазі, що при неточному завданні параметрів настройки ПД-регулятор може погіршити показники в порівнянні з іншими типами регуляторів і навіть перейти в режим автоколивань.

При цифрової реалізації ПД-закон має вид [25]:

$$Y_i = \left[k_p \cdot \varepsilon_i + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^n \varepsilon_i \Delta t_{\text{вим}} + T_d \frac{\Delta \varepsilon_i}{\Delta t_{\text{вим}}} \right] \cdot 100\%.$$

4.2 Постановка задачі моделювання

Для підтримки температури повітря на заданому рівні система опалення повинна виділяти в приміщення певну кількість тепла. Для цього необхідно отримати тепло і передати його приміщенню.

Існує кілька ступенів регулювання кліматичних умов в опалювальному приміщенні:

- 1) установка регулятора з постійною температурою;
- 2) установка регулятора з температурою за графіком;
- 3) установка регулятора по датчику кімнатного повітря і за графіком одночасно;
- 4) установка регулятора по температурі зовнішнього повітря, за графіком, за програмою з роздільним керуванням контурами системи опалення.

Чим більше буде встановлено ступенів регулювання, тим ефективніше працює вся система теплопостачання [26].

Для більш точного моделювання пропонується взяти за математичну модель об'єкт дослідження (розділ 2 та 3). Усі геометричні розміри та теплофізичні властивості огорожуючих конструкцій відповідають дійсності.

Необхідна умова для моделювання це підтримка температури в приміщенні на рівні 18 °С, температура навколишнього середовища -10 °С.

Основні цілі моделювання:

1. Дослідити математичну модель системи регулювання температури в приміщенні;
2. Побудувати графіки ідеального регулювання з П-, ІІ-, ІІІД-регуляторами;
3. Побудувати реальні графіки регулювання з урахуванням інерційних властивостей огорожуючих конструкцій (будівлі).

4.3 Результати моделювання

1. Розімкнута система регулювання температури в приміщенні

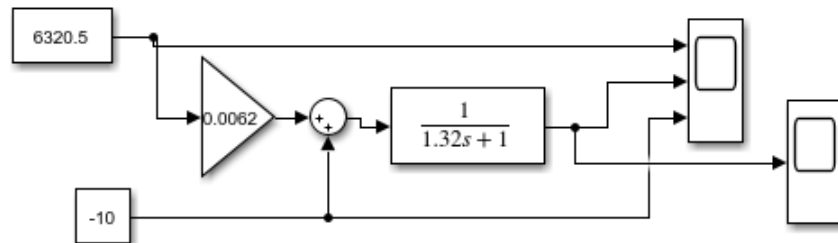


Рисунок 4.4 – Структурна схема розімкнутої системи регулювання температури в приміщенні

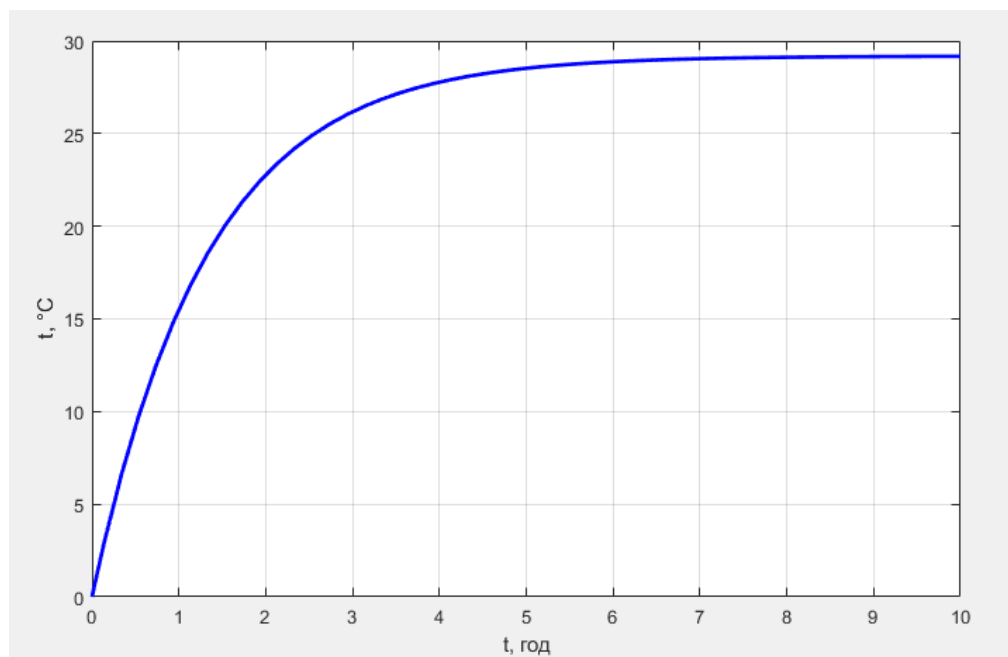


Рисунок 4.5 – Результат моделювання розімкнутої системи регулювання температури в приміщенні

Сумарна тепловіддача від опалювальних приборів складає 6320,5 Вт. Даний графік (Рисунок 4.5) показує температуру в приміщенні при постійному нагріванні. Встановлений час нагрівання складає приблизно 5 годин.

Необхідно зауважити, що встановлена температура в приміщенні складатиме близько 29°C замість комфортних 20°C , що свідчить про значне «переопалення».

2. Замкнута система регулювання температури в приміщенні.

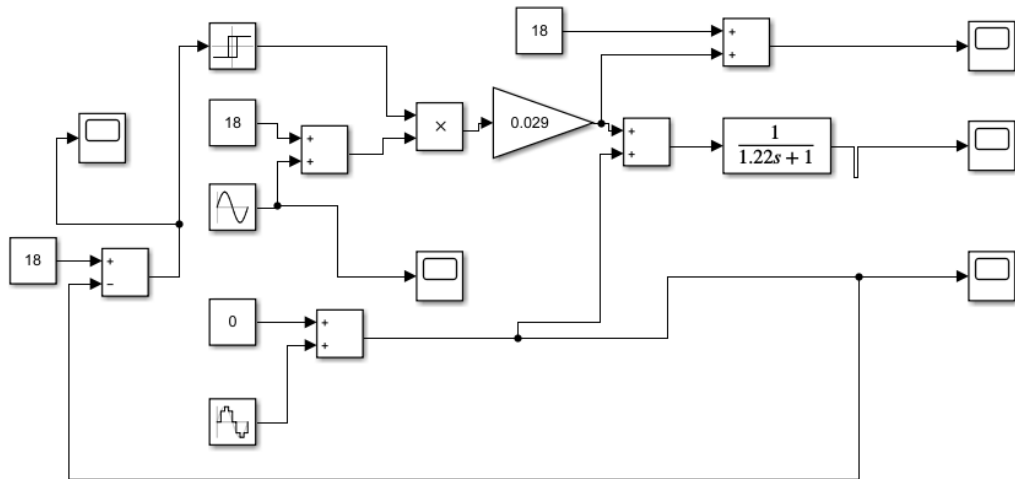


Рисунок 4.6 – Структурна схема замкнутої системи регулювання температури в приміщенні

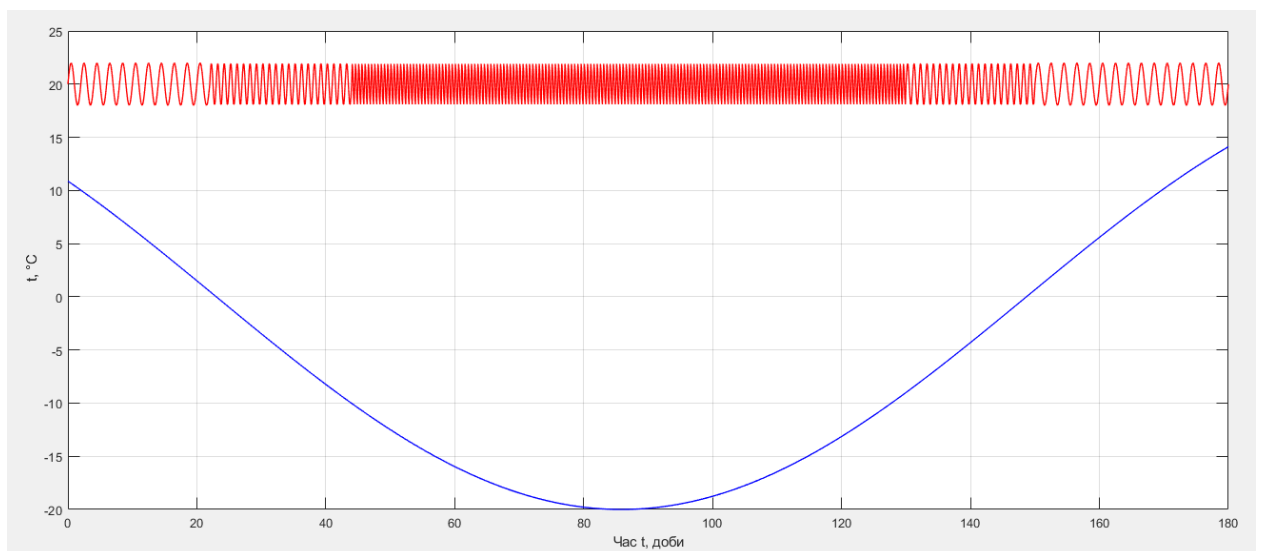


Рисунок 4.7 – Результат моделювання замкнутої системи регулювання температури в приміщенні

За результатом моделювання замкнутої системи регулювання видно, що чим нижча температура навколишнього середовища (синя лінія) тим збільшується частота включення котла. Таке регулювання дозволяє підтримувати температуру в приміщенні приблизно на одному рівні, а саме як видно з графіку від 18 до 23 °С.

3. Моделювання ідеального регулювання з П-, ПІ-, ПІД- регуляторами.

На прикладі добового температурного графіку (розділ 2) покажемо, як в ідеальному варіанті повинні відпрацьовувати дані регулятори.

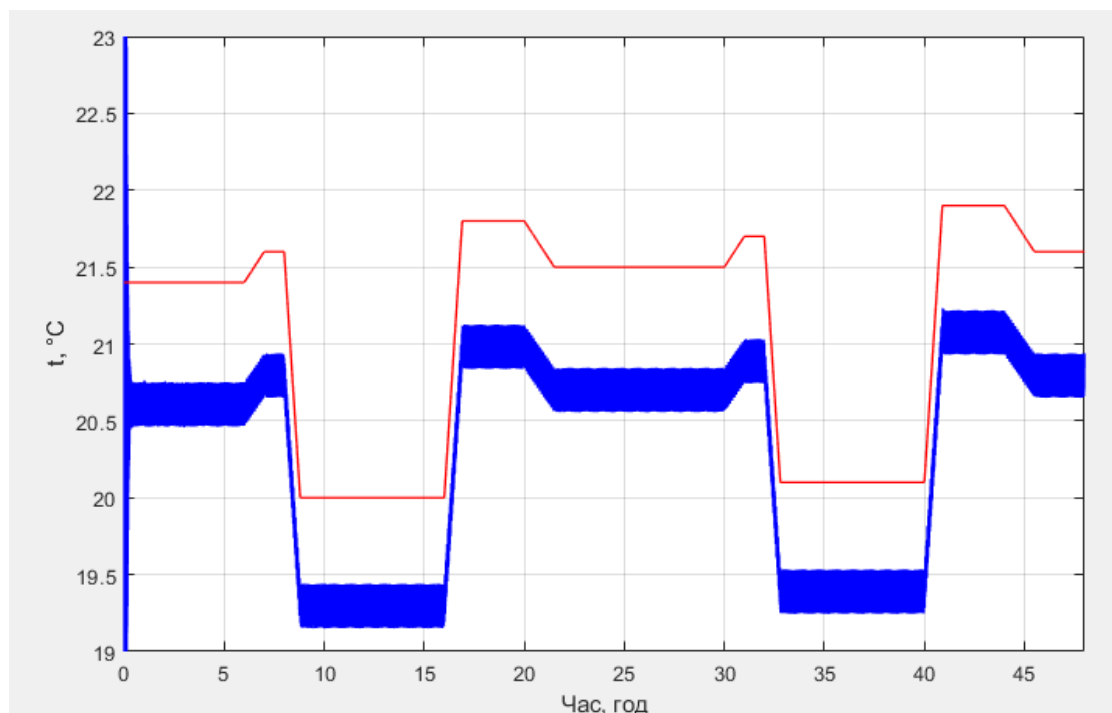


Рисунок 4.8 – Ідеальний графік з П-регулятором

Як видно з Рисунок 4.8. регулятор повторює, але не співпадає з заданим графіком. Це пояснюється тим що П регулятор не може вийти на ідеальний заданий графік, він завжди буде коливатись в межах одного двох градусів.

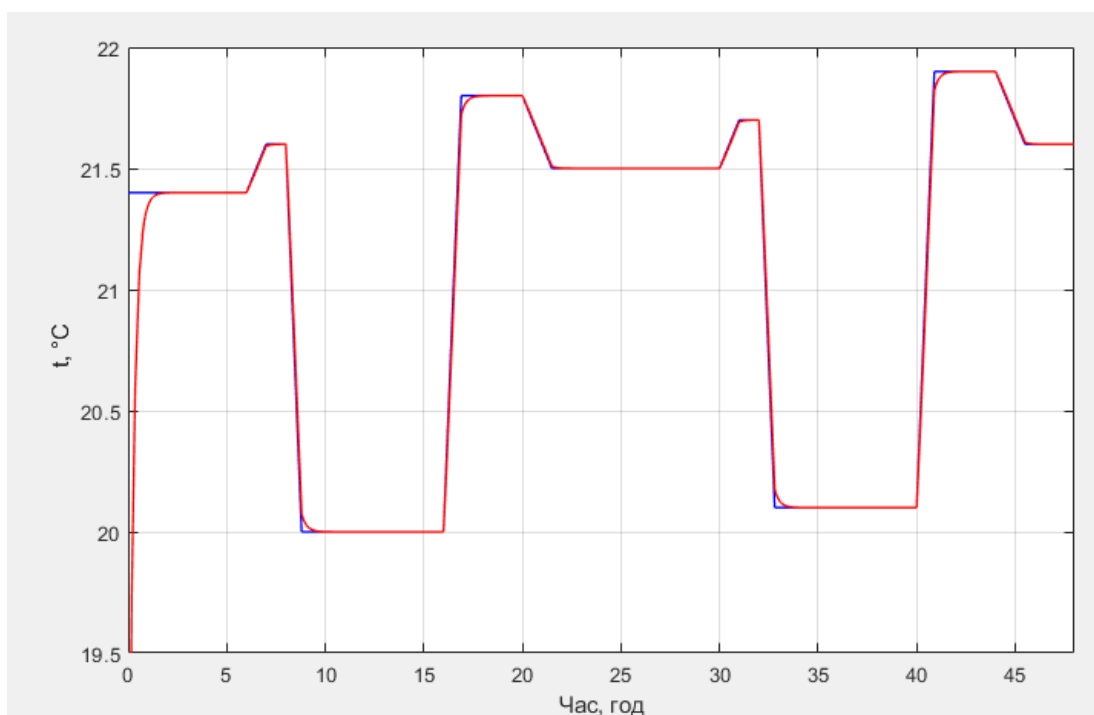


Рисунок 4.9 – Ідеальний графік з ПІД-регулятором

4. Моделювання реального регулювання з П-, ПІ-, ПІД- регуляторами.

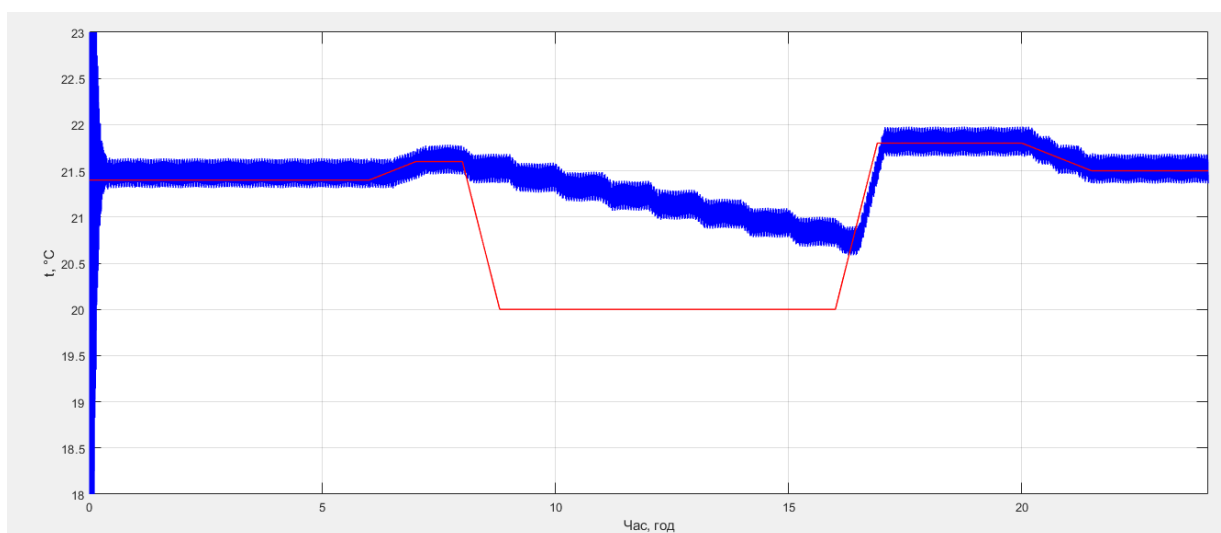


Рисунок 4.10 – Реальний графік з П-регулятором

Як видно з графіку, температура в кімнаті має скачко подібний характер, це пояснюється тим, що батарея то нагрівається то поступово охолоджується, постійно відбувається зміна температури в кімнаті, ця дельта складає $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

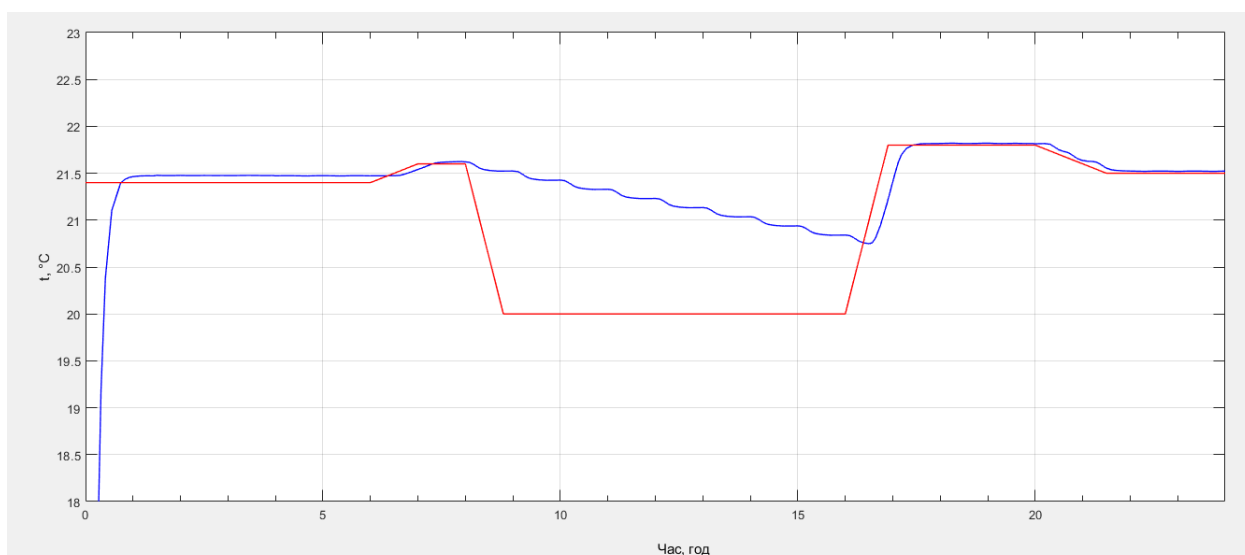


Рисунок 4.11 – Реальний графік з ПІ-регулятором

Графік температури в приміщенні співпадає з заданим, ПІ-регулятор згладжує різкі перепади температури за допомогою інтегральної складової, яка визначає дельту між заданою та дійсною температурою.

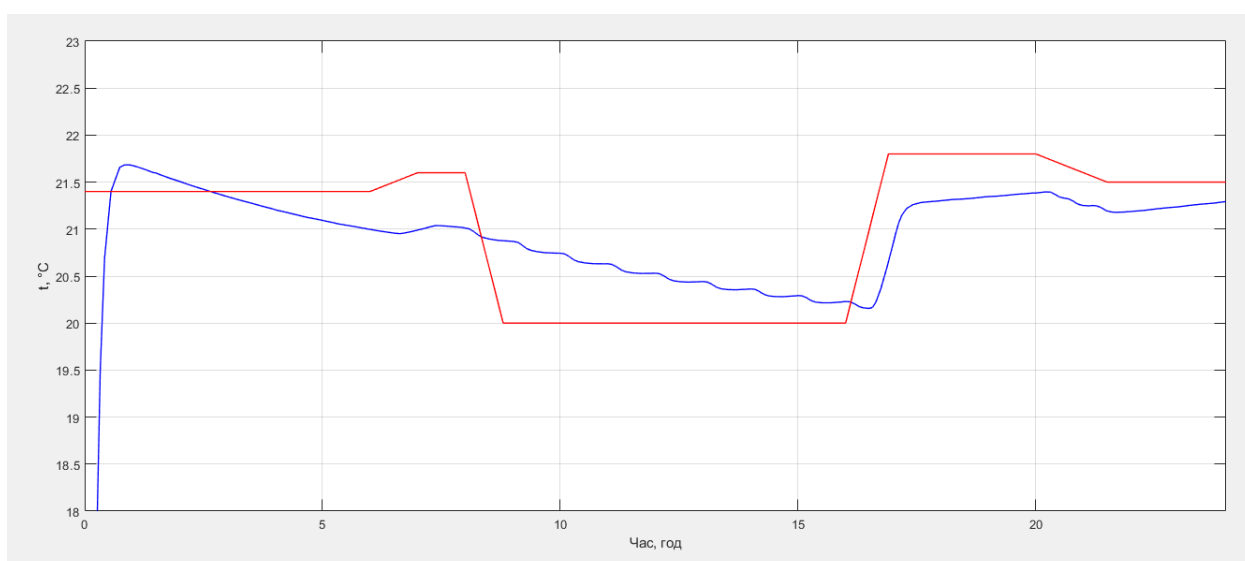


Рисунок 4.12 – Реальний графік з ПІД-регулятором

Температура в приміщенні не відповідає заданому графіку, так як диференціальна складова сильно згладжує графік. Загалом ПІД-регулятор як і будь який інший регулюється коефіцієнтами, проте саме ПІД-регулятор налаштувати найважче, в деяких випадках при неправильному налаштуванні

регулятора, можна отримати протилежний ефект бажаному. Тому на практиці найбільше використовують ПІ-регулятори.

Висновки до розділу

В даному розділі було розглянуто три види регулювання температури в приміщенні, а саме за допомогою П-, ПІ-, ПІД- регуляторами.

Основною задачею регулювання є забезпечення плавних перепадів температури.

П-регулятор має найбільшу статичну похибку (різниця між заданою та встановленою температурою в приміщенні) та має найдовший вихід на постійну температуру.

ПІ-регулятор за допомогою інтегральної складової відслідковує похибку та виключає її, впливаючи на регулюючий орган пропорційно відхиленню і інтеграла від відхилення регульованої величини. Даний тип регулятора має плавний перехід на постійну температуру.

ПІД-регулятори впливають на об'єкт управління пропорційно відхиленню регульованої величини, інтегралу від цього відхилення і швидкості зміни регульованої величини. Мають найбільш швидкий та плавний вихід на постійну температуру.

Під час моделювання реального розподілення температури за заданим температурним графіком, П- регулятор повторив графік проте має відхилення від заданої температури на 0,5 °С, ПІ-регулятор повністю плавно відтворив графік, проте ПІД-регулятор тільки частково відтворив, оскільки диференціальна складова сильно згладжує графік.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

5.1 Порівняльний аналіз споживання природного газу в системі опалення з контролером та без нього.

Дослідження роботи терморегулятора.

Для порівняння споживання природного газу в один опалювальний період було взято споживання для двох однакових квартир, які знаходяться в одному будинку, мають однакове планування та систему опалення включно з радіаторною системою. Підтримання температури в приміщенні було приблизно однакове на рівні від 21 – 22 °С. Відмінність систем лише в тому, що в одній з квартир встановлена система регулювання температури у вигляді контролера.

Даний дослід було проведено в опалювальний період 2017-2018 роки.

Дані дослідів занесено до таблиці 5.1 та таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Споживання природного газу системи опалення з встановленим контролером

ОП 2017/2018	Споживання природного газу за місяць, м ³	Кількість опалювальних днів на місяць	Споживання природного газу на день, м ³	Тариф	Витрата, грн
жовтень	74	15	3,708	6,9579	516,044
листопад	119	30	3,972	6,9579	829,150
грудень	137	31	4,425	6,9579	954,392
січень	166	31	5,360	6,9579	1156,171
лютий	165	28	5,899	6,9579	1149,213
березень	126	31	5,065	6,9579	877,855

Таблиця 5.2 – Споживання природного газу системи опалення без контролера

ОП 2017/2018	Споживання природного газу за місяць, м ³	Кількість опалювальних днів на місяць	Споживання природного газу на день, м ³	Тариф	Витрата, грн
жовтень	136	15	9,066	6,9579	946,205
листопад	303	30	10,1	6,9579	2108,244
грудень	320	31	10,3225	6,9579	2226,511
січень	326	31	10,5	6,9579	2264,796
лютий	308	28	11	6,9579	2143,033
березень	285	31	9,2	6,9579	1984,393

За даними результатами дослідження побудовано графіки споживання природного газу для двох систем опалення, системи з встановленим контролером та без нього (рисунок 5.1-5.4). Також показано економію природного газу у відсотках, та повну економію витрат на природний газ.

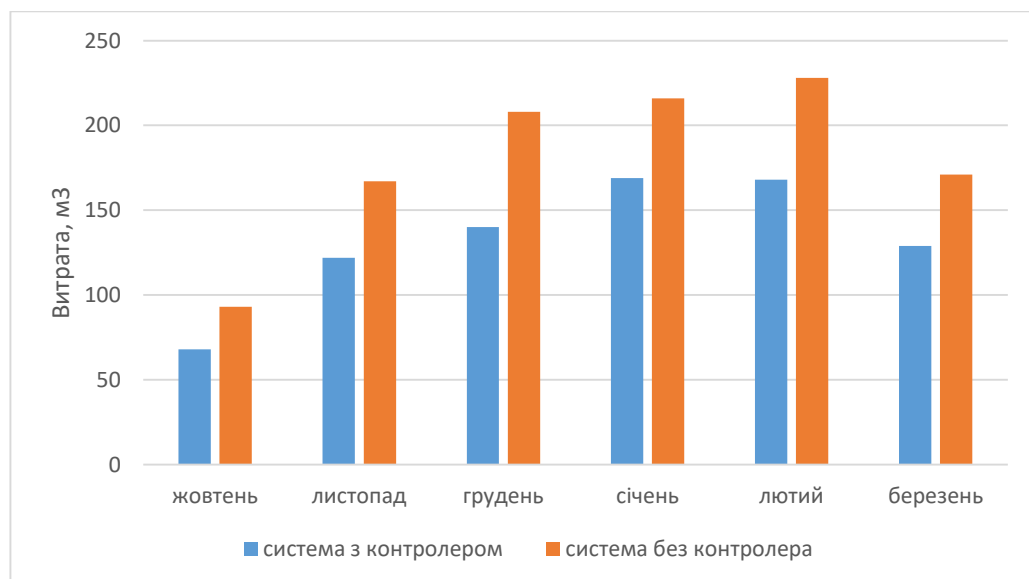


Рисунок 5.1 – Споживання природного газу системами опалення з контролером та без нього

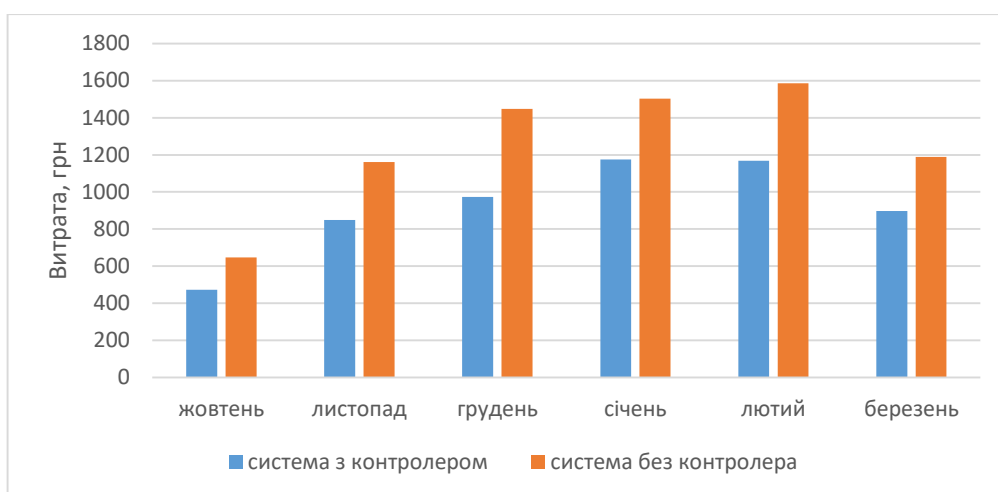


Рисунок 5.2 – Витрата на споживаний природний газ

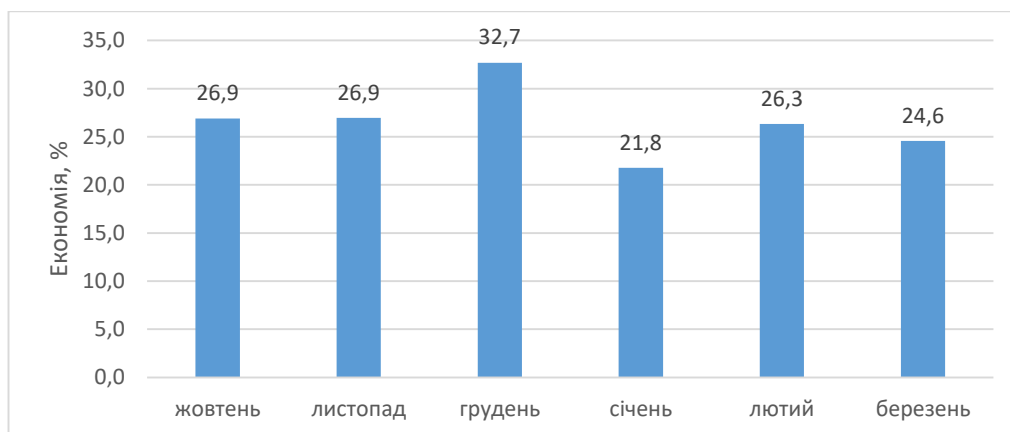


Рисунок 5.3 – Економія споживання природного газу при встановленні в систему опалення контролера

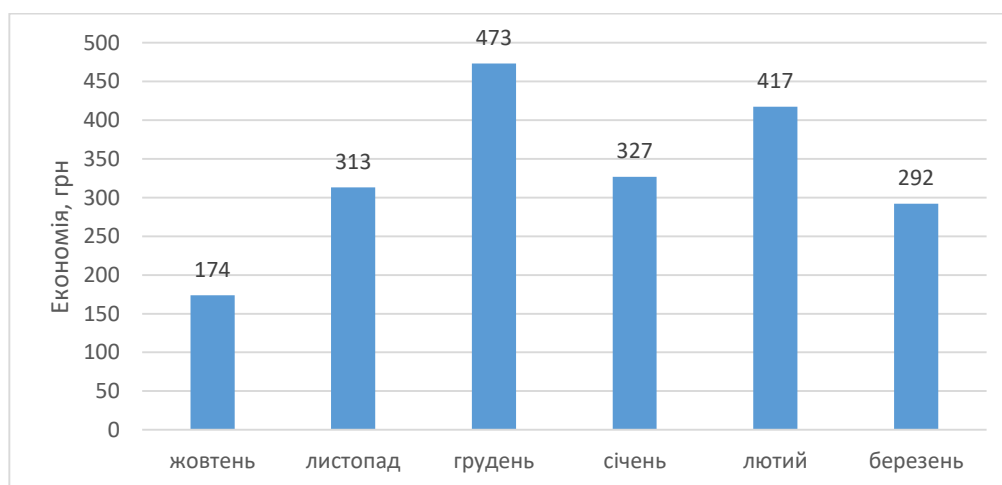


Рисунок 5.4 – Економія витрат на природний газ при встановленні контролера в систему опалення

Загальна економія витрат на природний газ становить приблизно 2000 грн за один опалювальний період при тарифі 6,9579 грн/м³, якщо в рахувати те, що станом на 2019 рік тариф на природний газ становить 8,54892 грн/м³ то в перерахунку на новий тариф економія складатиме приблизно 2450 грн.

Даний пристрій має досить малий термін окупності, так як економія витрат на природний газ за один опалювальний період повністю покриває вартість контролера.

5.2 Розрахунок терміну окупності системи регулювання температури в приміщенні в системі з контролером.

Середня вартість системи регулювання температури повітря в приміщенні з контролером на ринку України складає 1725 грн та представляє собою блок який підключається до автоматики котла та власне переносний безпроводний контролер (програматор). Також при розрахунку необхідно врахувати вартість послуги по встановленню контролера, яка коштує 200 грн.

Простий термін окупності для такої системи становитиме:

$$T = \frac{E}{C} = \frac{2650}{1925} = 1 \text{ рік } 4 \text{ місяці.}$$

Термін окупності такої системи є 1,5 опалювальних періода, тому це говорить про доцільність встановлення такої системи.

Висновки до розділу.

Як видно з порівняльного аналізу споживання природного газу, системою з встановленим контролером та без нього, встановлення контролера дозволяє зменшити споживання енергоресурсів до 30%.

Також був розрахований простий термін окупності, який складає 1,5 року, що говорить про доступність такої системи та швидкий термін окупності.

ВИСНОВКИ

В роботі було досліджено регулювання індивідуальної поквартирної системи опалення. Серед трьох видів регулювання, для дослідження було обрано систему регулювання температури внутрішнього повітря з контролером.

Об'єктом дослідження була обрана однокімнатна квартира в місті Київ. Розрахункова енергопотреба на опалення об'єкту складає 5061,7 кВт·год, також був проведений порівняльний аналіз фактичного приведенного до нормальних умов споживання природного газу з розрахунковим. Дане порівняння показало, що фактичне приведенне споживання майже повністю відповідає розрахованому, що означає що система опалення налагоджена.

В період з 25.02 – 14.03 2019 року був проведений дослід, а саме вимірювання температури в приміщенні для двох систем опалення, з регулюванням та без нього. Для найхолоднішого дня в період дослід було проведено порівняння розподілу температури в приміщенні. Система з регулюванням відповідала заданому графіку, проте система без регулювання мала різкі перепади температур, що говорить про неефективність ручного регулювання.

В програмному середовищі SOLIDWORKS було проведено моделювання температурного розподілу об'єкту дослідження, який показав що температура теплоносія для досягнення нормативних комфортних умов складає 70 °C.

Також було проведено дослідження роботи П-, ПП-, ППД-регуляторів, промодельовано ідеальне відпрацювання добового температурного графіку з використанням кожного виду регулятора, а також реальне відпрацювання нагрівання приміщення з використанням цих регуляторів.

Для розрахунку терміну окупності системи регулювання з контролером, було проведено порівняння споживання природного газу системи з контролером та без регулювання. Дане порівняння показало економію споживання енергоресурсів в системі з регулюванням до 30%, термін окупності контролера складає не більше 1,5 опалювальних періоди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гершкович В.Ф. Пособие по проектированию систем водяного отопления к СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» - К.:ЗНИИЭП, 2001.-63с.
2. ДБН В 11-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму – К.: Мінрегіонбуд 2014, 54 с.
3. Пирков В.В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення
4. Покотилов В.В. Пособие по расчету систем отопления. Минск: HERZ Armaturen, 2006.- С.144.
5. Федоров С.С., Кобелев Н.С., Крыгина А.М., Тютюнов Д.Н. Регулирование параметров микроклимата зданий и сооружений в зависимости от теплопроводности строительных конструкций. Весник МГСУ №3. 2011. - С.415 – 420.
6. Нимич, Г.В. Общие положения автоматического управления системами кондиционирования и вентиляции / Г.В. Нимич // С.О.К. – 2005. – № 7.
7. Теория автоматического управления /А.А. Воронов, Д.П. Ким, В.М. Лохин и др. – М.: Высшая школа, 1986.
8. Про затвердження Порядку відключення окремих житлових будинків від мереж централізованого опалення та постачання гарячої води при відмові споживачів від централізованого теплопостачання: наказ М-ва юстиції України від 22 листопада 2005р. №1478
9. Дорошенко Ю.І. Огляд сучасних систем опалення та методик дослідження впливу температурних режимів на ефективність їх експлуатації в умовах сільського населеного пункту. Івано-Франківськ: Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 2014. – С. 107-118.
10. ДСТУ Б В.2.5-33:2007. Поквартирне теплопостачання житлових будинків з теплогенераторами на газовому паливі з закритою камерою

згоряння з колективними димоходами і димохідними системами – К.: Мінрегіонбуд 2007, 16 с.

11. Дешко В.І., Білоус І.Ю. Моделювання режимів опалення приміщень. Київ: Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. – №3. – С. 97- 104.

12. Круковский П.Г. Возможности и проблемы применения способа экономии энергии путем регулирования температуры помещений / П.Г. Круковский, М.А. Метель, О.Ю. Тадля// Промышленная теплотехника. - 2009. - №7. - С. 24.

13. Гершкович, В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий: пособие по проектированию / В.Ф. Гершкович // С.О.К. – 2008. – № 8.

14. Росковшенко Ю.К., Штиленко В.П. Індивідуальне автоматичне регулювання та облік теплової енергії в системах водяного опалення. Київ. С.6.

15. [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурсу: URL: <https://budselo.in.ua/pohodnyj-termorehuliator-dlia-kotla-opalennia-termostaty-i-termodatchyky-dlia-rehuliuvannia.html>

16. [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурсу: URL: <https://stroisovety.org/termoregulatory-dlya-otopleniya/>.

17. [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурсу: URL: http://moikotly.ru/otoplenie_doma/termore-gulatory.html.

18. [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурсу: URL: http://moikotly.ru/otoplenie_doma/termore-gulatory.html.

19. [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурсу: URL: <http://oteplo.com/besprovodnoj-termoregulyator-dlya-gazovogo-kotla/>.

20. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель - К.: Мінрегіонбуд, 2014. – 48 с.

21. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні,

вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні - К.: Мінрегіонбуд, 2015. – 137 с.

22. [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурсу: URL: <https://104.ua/ru/gas/natural/id/jakist-prirodnogo-gazu-8250>.

23. ДСТУ-Н Б В.1.1– 27:2010 Будівельна кліматологія - К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 132 с.

24. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://www.rp5.ua/>.

25. В.С. Спицин, В.В. Спицин. Алгоритми управління температурою в приміщенні - «Комп'ютерні технології, управління, радіоелектроніка», випуск 17, 2012.

26. В. Н. Ханнанова Математическая модель системы регулирования температуры внутри помещения – «Вестник Казанского технологического университета», 2013. – С.309–313.